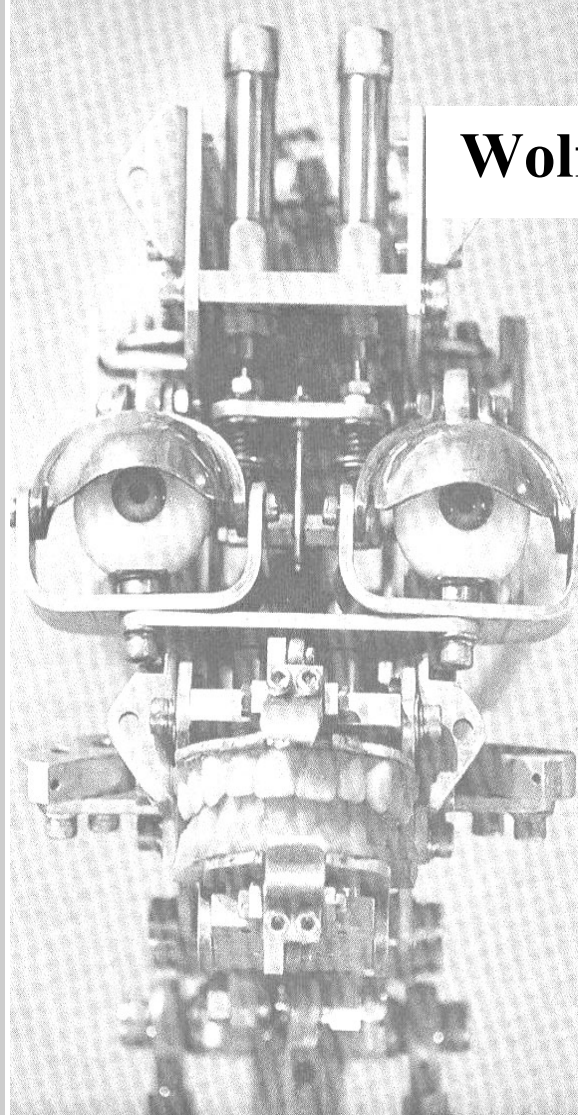


Automatisierungstechnik im Wandel der Zeit



Wolfgang Weller

*Entwicklungsgeschichte eines
faszinierenden Fachgebiets*

© Text by Wolfgang Weller (2012)

E-Mail: BITWeller@t-online.de

Wolfgang Weller

Automatisierungstechnik im Wandel der Zeit

*Entwicklungsgeschichte
eines
faszinierenden Fachgebiets*

1. Einführung

Die Geschichte der Automatisierungstechnik umfasst einen Zeitraum von etwa 70 Jahren, sieht man von vereinzelt Speziallösungen, wie mechanischen Spielautomaten, Maschinensteuerungen, dem Dampfmaschinenregler und einigen militärischen Anwendungen im 2. Weltkrieg, ab. In dieser vergleichsweise kurzen Zeitspanne hat diese Disziplin dennoch wesentliche Beiträge zum allgemeinen Fortschritt der Menschheit geleistet. Ohne die Automatisierungstechnik gäbe es keine effiziente Produktion, nicht die vielfältigen Erleichterungen der Arbeitstätigkeit, Verbesserungen des Komforts und der Sicherheit der Menschen, den hohen Sicherheitsstandard unserer Automobile, die großen Erfolge in der Weltraumtechnologie u. a. m.

Die Bewahrung großer menschlicher Leistungen ist ein Anliegen, dem in unterschiedlichem Maß entsprochen wird. Auf dem ehrwürdigen Gebiet der Medizin wird dieses Erbe in medizin-historischen Instituten gepflegt, die sogar mit eigenen Professuren ausgestattet sind. Die Schätze von Natur, Völkern, der Kunst werden vorwiegend in Museen bewahrt und dort auch wissenschaftlich bearbeitet. Auch dem Gebiet der Technik gibt es eindrucksvolle Museen und Industriedenkmäler. Selbst technische Teildisziplinen, wie die Kommunikationstechnologie, verfügen in Einzelfällen über Präsentationsstätten ihrer Leistungskraft. Vergebens hingegen sucht man nach Vergleichbarem auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik.

Mit dem nachfolgenden kleinen Werk will der Autor einen bescheidenen Beitrag zur Schließung dieser Lücke leisten, indem er die wesentlichen Entwicklungsstufen des Fachgebiets Automatisierungstechnik in knapper Form zu dokumentieren sucht. Bei dieser Darlegung kann er auf den Fundus eines langen Berufslebens zurückgreifen, welches dieser technischen Disziplin im Rahmen der Kybernetik, gewidmet war. Im Bemühen um eine kompakte Darlegung werden hier nur die Hauptlinien der Entwicklung nachgezeichnet.

Bei der Darlegung des Stoffes soll weniger einer strengen Chronologie, sondern vielmehr einer Gliederung in Etappen gefolgt werden. Die Abgrenzung solcher Entwicklungsetappen erfolgt unter dem Gesichtspunkt eines jeweils bestimmenden Hauptmerkmals. An ihrem Beginn stehen zumeist technologische Innovationen mit Schlüsselcharakter. In den behandelten Kapiteln werden jeweils die typischen Anwendungsgebiete der Automatisierung, die in dieser Zeit eingesetzten technischen Mittel sowie die zur Behandlung der anstehenden Probleme entwickelten Methoden dargelegt. Diesem Dreiklang soll nach Möglichkeit durchgängig Rechnung getragen werden. Zwischen den auf diese Weise charakterisierten Etappen gibt es natürlicherweise Übergänge, so dass bei der Behandlung gelegentlich auch Überschneidungen auftreten. Nach der gebotenen Retrospektive der Entwicklung des Fachgebiets soll in einem abschließenden Kapitel noch ein Blick auf neueste Entwicklungen und Visionen geboten werden.

Hintergrundinformationen zu den folgenden Ausführungen können u. a. der Literaturstelle [1] entnommen werden.

2. Einzelautomatisierung

In der dem Kriegsende folgenden Aufbauphase ging es zunächst um die Schaffung einer tragfähigen wirtschaftlichen Basis. Dementsprechend war der Einsatz der Automatisierungstechnik vorzugsweise auf die Schwerindustrie, chemische Verfahrenstechnik, das Energiewesen, die Fertigung von Maschinen, gerichtet. Stellvertretend für die weite Klasse industrieller Anwendungen sei in **Bild 1** auf ein Wärmekraftwerk verwiesen, in dem unterschiedlichste Automatisierungsverfahren und –mittel zur Anwendung gelangen.



Bild 1
Kraftwerk als Anwendungsbeispiel
industrieller Automatisierung

Wesentlicher Zweck dieser *Prozessautomatisierung* war die Erzielung und dauerhafte Gewährleistung einer möglichst hohen Effizienz der Produktion sowie gleichbleibender Produktqualität. Zudem bescherte die Automatisierung den in diesen Produktionsbereichen beschäftigten Menschen Arbeitserleichterungen, indem sie von einer beständig Aufmerksamkeit erfordernden und ermüdenden Arbeitstätigkeit formalgeistiger Art entlastet wurden. Ihr Tätigkeitsfeld verlagerte sich vom Wirken in Prozessnähe in dasjenige abgesetzter Automatisierungswarten, wobei sich ihr Tätigkeitsfeld bezüglich der Übernahme von Überwachungs- und Kontrollfunktionen wandelte.

Im weiteren Verlauf der Entwicklung sind zu den klassischen Industrieenanwendungen der Automatisierungstechnik viele neue Einsatzgebiete hinzugekommen. Dazu zählen die Pharmazie, Lebensmittelindustrie, Landwirtschaft und das Bauwesen, die Wasser- und Abwasserwirtschaft, Biotechnologie, Medizin und Medizintechnik, Fahrzeuge und Verkehrswesen u. v. a. Bemerkenswert ist hierbei die Ergänzung der zunächst *prozessbezogenen* Automatisierung durch die *produktintegrierte* Automatisierung.

Die bei der Führung industrieller Prozesse, von Maschinen und produktionstechnischen Anlagen anstehenden Aufgaben der Überwachung, Steuerung und Regelung verlangte *selbsttätig* arbeitende technische Mittel. Dazu gehören Sensoren zur prozess-schritthaltenden Erfassung der verschiedensten, vorzugsweise physikalischen Prozessgrößen, Einrichtungen zur Informationsverarbeitung sowie Aktoren zur Prozessbeeinflussung. Diese technischen Komponenten erfassen, übertragen, verarbeiten, speichern und nutzen Informationen, welche in dieser Entwicklungsphase weitgehend an analoge Signale gebunden sind. Dafür werden Signalträger mechanischer, pneumatischer

tischer und später auch elektrischer Art sowie auch unterschiedliche Signalpegel benutzt.

Die ursprünglich eingesetzten *technischen Mittel* zur Realisierung der informationsverarbeitenden Einrichtungen basierten auf unterschiedlichen Wirkprinzipien mechanischer, hydraulischer und pneumatischer Art. Charakteristische Automatisierungsgeräte dieser Zeit waren für Aufgaben der Prozessregelung die sog. Strahlrohrregler, Zeiger-Regler mit Kontakt- oder Widerstandsabgriff, Tastbügelregler und Magnetverstärkerregler (**Bild 2**). In der Steuerungstechnik dominierten verbindungsprogrammierte Schützen- bzw. Relaissteuerungen. Auch pneumatische Automatisierungsmittel fanden über längere Zeit sowohl bei der Implementierung von Steuerungen als auch Regelungen chemischer Prozesse Verwendung. Der Hauptgrund für die Verwendung dieser Art von Hilfsenergie lag vor allem in der a priori gegebenen Explosionsicherheit. Einen Eindruck der seinerzeitigen pneumatischen Regelungstechnik vermittelt **Bild 3**.

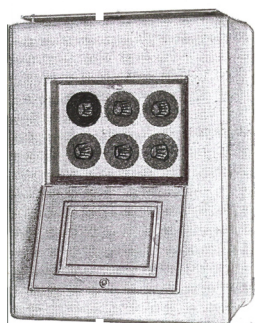


Bild 2 Magnetverstärker-Regler
(WTBG, Berlin)

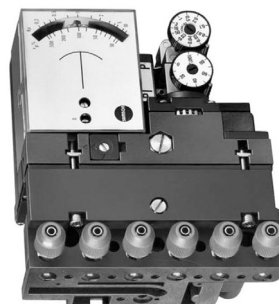


Bild 3 pneumatischer Regler
(Samsung)

Im Gefolge des Aufkommens der Mikroelektronik Anfang der 70er Jahre des zurückliegenden Jahrhunderts vollzog sich ein Wandel in der Automatisierungsgerätetechnik zugunsten einer zunehmenden Elektronifizierung. Diese führte zur weitgehenden Ablösung elektromechanischer zugunsten elektronischer Gerätelösungen. Typische gerätetechnische Lösungen dieser Zeit waren analoge elektronische Prozessregler (**Bild 4**). Diese Regler besaßen eine genormte Frontabmessung und konnten so in die Prozessleittechnik der Warten eingefügt werden.



Bild 4 elektronischer Regler
(Foxboro Eckardt)

Auf dem Gebiet der Steuerungstechnik hielt die Elektronik Einzug in Gestalt der logischen Gatter. Hierbei handelt es sich um modulare Bausteinlösungen, die über mehrere Eingängen für Binärsignale verfügten und jeweils logische Grundoperatoren (UND, ODER, NICHT) sowie verschiedene Speichertypen realisieren.

Die seinerzeit verwendeten Signalarten, –pegel und Bauformen der Automatisierungseinrichtungen ließen zunächst nur zumeist firmengebundene Einzellösungen zu, da die Komponenten nicht miteinander kompatibel waren. Dies änderte sich erst, nachdem standardisierte Einheitssignale eingeführt wurden. Für elektrische Signale wurde der Wertebereich 4 – 20 mA und bei pneumatischen Signalen der Bereich 3 – 15 psi festgelegt. Die vorgenommene Vereinheitlichung der Signale bot nun die Möglichkeit der Entwicklung system-orientierter Gerätelösungen (Beispiel *ursamat*) [2]. Ein wesentlicher Trend war die Modularisierung von Automatisierungseinrichtungen bezüglich der Verwendbarkeit für eine weite Klasse potenzieller Automatisierungslösungen. Hierbei handelt es sich um Sortimente von Bausteinen mit hardwaremäßig realisierten Teilfunktionen, die miteinander kompatibel waren. Die nunmehr bestehende multiple Nutzbarkeit von Automatisierungskomponenten eröffnete die Möglichkeit einer rationellen Fertigung der Automatisierungsbausteine in Großserien wie auch einer effektiven Projektion der zumeist unikalenen Anwendungslösungen.

In der hier betrachteten Epoche fanden Automatisierungslösungen Verwendung, deren Funktion vorab festgelegt war und die somit nur unter eingeschränkten Bedingungen einsetzbar waren. Die Funktionsfestlegung erfolgte im Rahmen eines Entwurfsprozesses auf der Basis eines zuvor ermittelten Prozessmodells bzw. einer Prozessbeschreibung. Dieser Systementwurf wurde weitgehend dadurch erschwert, dass die bestehenden Kausalitätsbeziehungen – besonders wenn Rückkopplungen bestehen – schwer durchschaubar sind. Somit bedurfte es bereits in der Frühphase der Automatisierungstechnik geeigneter theoretischer *Methoden*, um zumindest brauchbare Lösungen zu erhalten.

Nach anfänglichem Gebrauch einfacher Faustformeln und grafischer Verfahren kam es im Rahmen einer aufblühenden Regelungs- und Steuerungstheorie zur Entwicklung systematischer *Methoden* auf mathematischer Grundlage, die der Behandlung der jeweils anstehenden Probleme gewidmet waren. Dazu zählen auf dem Gebiet der *Regelungstechnik* Methoden zur Analyse des Stabilitätsverhaltens von Regelkreisen, Verfahren zum Reglerentwurf sowie die Ermittlung von Modellen vorliegender dynamischer Prozesse. Diese bezogen sich zunächst auf eine Eingangs-Ausgangs-Beschreibung linearer Systeme mit konzentrierten und verteilten Parametern sowie einfacher nichtlinearer Systeme. Dazu wurden neben einer Behandlung im Zeitbereich auch Funktionaltransformationen in den Frequenz- und Laplace-Bereich eingeführt, die eine vorteilhaftere Behandlung ermöglichen. Die Komplexität der zu automatisierenden industriellen Prozesse verlangte bald auch nach Methoden zur Behandlung von Mehrgrößensystemen, die zunächst auf der Entkopplung solcher Systeme basierte. Hinzu kamen Methoden zum Entwurf auf robustes, zeitoptimales und auch prädiktives Verhalten (s. auch [3]).

Mit der Einführung des Zustandskonzepts erweiterte sich das Methodenrepertoire, welches nunmehr eine einheitliche Behandlung und Optimierung von Ein- und Mehrgrößensystemen ermöglichte. Das Konzept bietet verschiedene Möglichkeiten des

optimalen oder auch suboptimalen Entwurfs von Regelungssystemen und vermittelt auch Einsichten in das Systemverhalten (Beobachtbarkeit, Steuerbarkeit, Stabilitätsverhalten). Im Bedarfsfall ist sogar eine Schätzung des aktuellen Systemzustandes möglich. Die Analyse und der (optimale) Entwurf von Regelungssystemen auf Basis des Systemzustandes sind durchaus anspruchsvoll. Zur Unterstützung des Projektierungsingenieurs bei der Handhabung dieser leistungsfähigen Verfahren wurden deshalb anwenderfreundlich gestaltete Softwarewerkzeuge (Tools) bereitgestellt. Eine beträchtliche Weiterentwicklung der Modellbildung bedeutete auch die Ausarbeitung von Parameterschätzverfahren.

Die Methodenentwicklung auf dem Gebiet der *Steuerungstechnik* hatten ihre theoretische Basis in der Schaltalgebra und Automatentheorie. Die Verfahren bezogen sich vor allem auf den Schaltungsentwurf sowie die Prüfung auf möglicherweise bestehende Wettläufe in den Logikschaltungen. Besondere Bedeutung hatten die in damaliger Zeit bereit gestellten Verfahren zur Minimierung von Logikschaltungen, da deren Anwendung erhebliche Einsparungen an technischen Mitteln (Relais, später Logikgatter) ermöglichte. Für die Behandlung der zunehmend in den Focus gerückten Ablaufsteuerungen mit Nebenläufigkeiten wurden spezielle Verfahren auf der Grundlage der Theorie der Petri-Netze entwickelt, deren Ergebnisse vergleichsweise einfach in Anwendungsprogramme für Speicherprogrammierbare Steuerungen umgesetzt werden können.

3. Digitalisierte Automatisierung

Ein weiterer Meilenstein der Entwicklung der Automatisierungstechnik war die Einführung der *Digitaltechnik*, welche der Weiterentwicklung des Fachgebiets neue Impulse gab. Diese führte zu einer zunehmenden Abkehr von der analogen Gerätetechnik, von der zunächst die Steuerungstechnik profitierte. Dies betrifft zum Einen die Erweiterung der Funktionalität der Logikbausteine um diverse numerische und auch Vergleichsoperatoren. Damit konnten nun auch komplexere Abläufe automatisiert werden.

Eine spezielle Entwicklungsrichtung der neuen Digitaltechnik bildete auch die sog. *CNC-(Computer Integrated Numeric Control-)* Technologie, welche die Steuerung von Werkzeugmaschinen zunehmend bestimmte.

Das Bestreben nach Vollautomatisierung der Produktion war mit einem erheblichen Anstieg des Bedarfs an Informationsverarbeitungskapazität verbunden. Um diesem zu begegnen, waren mit der vorangegangenen Digitalisierung der Informationsdarstellung bereits wichtige Voraussetzungen vorhanden, auf die nun zurückgegriffen werden konnte.

Die entscheidende Entwicklung bezüglich der Digitaltechnik war die Einführung der *Computertechnologie* als neues Mittel der Automatisierungstechnik, mit deren eigenständiger Entwicklung innerhalb der Informatik bereits wesentliche Voraussetzungen geschaffen waren. Diese Computer traten zunächst mit einer speziellen Ausstattung in Gestalt von *Prozessrechnern* auf den Plan. Dies war der Beginn des anhaltenden Zusammenwachsens von Automatisierungs- und Computertechnologie. Von dieser

Symbiose haben beide Seiten – die Automatisierungs- und die Informationstechnik – profitiert [4].

Als Prozessrechner dienten über längere Zeit hinweg kompakte Informationsverarbeitungseinrichtungen in Gestalt von Mini- und Großrechnern. Bekannte Produkte waren die Prozessrechner *PDP11*, *TDC 2000*, *Argus*, *System 300* der Anbieter *Honeywell*, *SUN*, *Hewlett Packard*, *Ferranti*, *Siemens* u. a. Der beispielsweise in den 60er bis frühen 70er Jahren vielfach eingesetzte Prozessrechner von *Honeywell* war zu Kaufpreisen von 35 000 DM (Basiseinheit) bis 2,5 Mio. DM (Komplettsystem) erhältlich. Angesichts solcher Beschaffungskosten erwies sich die Delegation einer Vielzahl von Automatisierungsfunktionen auf solche Rechner als notwendig.

Der Einsatz von Computern in der Automatisierungstechnik stellte spezielle Anforderungen. Zum Einen mussten die von den Sensoren bereitgestellten vorzugsweise analogen Signale digitalisiert und abgetastet werden, da Computer bekanntlich nur Daten verarbeiten können. In umgekehrter Richtung war es wiederum erforderlich, die berechneten Ausgangsdaten wieder in analoge Größen für die Betätigung der überwiegend konventionellen Aktoren umzusetzen und zwischen den Berechnungspausen zu halten. Diese Aufgaben übernehmen spezielle Baugruppen der sog. Prozessperipherie. Der Prozessrechner ist nun beiderseits mit mehreren dynamischen Prozessen verbunden, was einen zeitmultiplexen Betrieb erforderte. Die Prozesskopplung der Computer erforderte eine Eigenschaft, die mit Echtzeitfähigkeit bezeichnet wird. Wegen der aus Kostengründen notwendigen Bedienung einer meist größeren Anzahl dynamischer Prozesse mussten die Prozessrechner auch über eine Multitaskingfähigkeit verfügen. Notwendig war auch eine Interruptfähigkeit, um bei besonderen Prozessereignissen auch außerhalb des Bearbeitungsplans angemessen reagieren zu können.

Die Vielnutzung von Prozessrechnern bezog sich vorwiegend auf die Überwachung und Regelung einer meist großen Anzahl von Prozessen. Daraus ergab sich die besondere Form der direkten Digitalregelung (*ddc direct digital control*). Bei der computer-gestützten Regelung wird der Rechner im Zeitmultiplex betrieben, indem in zyklischer Folge jeweils eine Regelstrecke bedient wird. Infolge der zyklischen Betriebsweise ist jede Regelstrecke nur für kurze Zeit mit dem als multiplen Regler dienenden Prozessrechner verbunden. Dementsprechend müssen die jeweils errechneten Stellgrößen bis zur nächsten Bedienung der Regelstrecke zwischengespeichert („gehalten“) werden. Der einzelne Regelkreis arbeitet also im Tastbetrieb und somit diskontinuierlich. (*Sampled DataControl Systems*).

Die fortschreitende Digitalisierung der Automatisierungstechnik machte einen weiteren Ausbau des *Methodenspektrums* notwendig. Dazu wurde eine Theorie der diskontinuierlichen Regelungen ausgearbeitet. Desgleichen erfolgte eine Erweiterung der Methoden des Zustandsraums bezüglich der Behandlung solcher Systeme. Zudem wurde eine weitere Funktionaltransformation in Gestalt der z-Transformation eingeführt. Diese ermöglicht eine wesentlich bequemere Behandlung diskontinuierlicher Systeme.

Der Prozessrechnereinsatz für Regelungszwecke bot einerseits eine kompakte Implementierungsmöglichkeit insbesondere von Reglern, hatte aber Nachteile bezüglich der Zuverlässigkeit. Zur Gewährleistung einer hohen Systemverfügbarkeit mussten des-

halb Redundanzen eingeführt werden. Die gängigsten Lösungen waren die Installation von Doppelrechnerstrukturen bzw. aufwändige *Back-Up*-Lösungen auf Hardware-Basis. Vor allem wegen dieser geschilderten Sicherheitsprobleme wurden kompakte Prozessrechnerstrukturen später wieder verlassen und durch verteilte Prozessorlösungen ersetzt.

Eine wesentliche Folge der Implementierung von Automatisierungsfunktionen auf Prozessrechnern war die Verlagerung der Funktionalität in den Bereich der Software. Grundlage für diese Anwenderprogramme war die Entwicklung entsprechender Algorithmen. Mit den Aufgaben der Softwareerstellung stellten sich den Automatisierungssingenieuren völlig neuartige Aufgaben. Hilfe kam von den Fachinformatikern, die sog. *Support-Software* bereitstellten, die das Handhaben dieser neuen Technologie wesentlich erleichterten. Mittlerweile gibt es aufeinander abgestimmte Softwarepakete in Form sog. *Tool Kits* (Werkzeugkisten), die auch den Gebrauch anspruchsvoller Analyse-, Entwurfs- und Optimierungsverfahren nach unterschiedlichen Kriterien und Funktionsprinzipien (einschließlich Fuzzy- und Neuro-Control) ermöglichen. Eines der umfangreichsten und anwendungsseitig am meisten verbreiteten Angebote dieser *Kits* stammt von der Firma *MATLAB*.

Auf dem Gebiet der *Steuerungstechnik* führte die Digitalisierung in Verbindung mit dem Rechnereinsatz zu einer Abkehr von den sog. verbindungsprogrammierten Steuerungen auf Basis der Relaisstechnik bzw. der nachfolgend eingeführten elektronischen Gatter. An ihre Stelle trat nun mit den *Speicherprogrammierbaren Steuerungen* (SPS bzw. PLC) eine neuartige Geräteklasse auf den Plan, die zu wesentlichen Veränderungen bei der Implementierung von Steuerungen führte. Pionier dieser Technologie war die Fa. *Modicon (USA)*. Es folgten *Allan Bradley (USA)*, *AEG (D)*, *Siemens (D)*, *Telemécanique (F)*, *Omron (J)* u. v. a. Ein Ausführungsbeispiel einer Speicherprogrammierten Steuerung zeigt **Bild 5**.

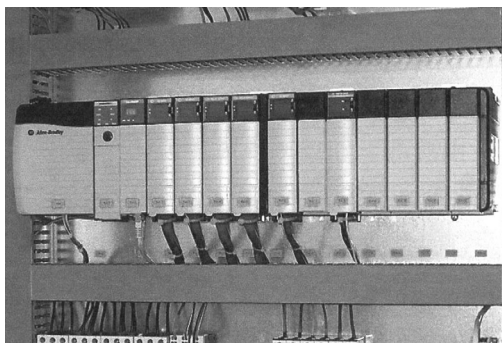


Bild 5 Beispiel einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (Allan Bradley/USA)

Die Einführung der Speicherprogrammierbaren Steuerungen bedeutete einen völligen Umbruch auf dem Teilgebiet der Steuerungstechnik. Diese neue Gerätegeneration war weitgehend modularisiert und konnte je nach Umfang des jeweiligen Steuerungsproblems bedarfsgerecht konfiguriert werden. Die Herstellung der Module Speicherprogrammierbarer Steuerungen konnte nun in Großserie erfolgen. An die Stelle der bisher notwendigen Verdrahtung logischer Grundelemente trat nun die aufgabenspezifische Programmierung der zunächst funktionsneutralen Hardwarebasis. Damit stellten sich nunmehr neuartige Anforderungen an den Automatisierungsfachmann. Um diesen nicht zu überfordern, wurden bald spezielle *Fach-* bzw. *Steuersprachen* entwickelt.

Diese ermöglichten eine Programmierung in Termen des geläufigen Kontakt- oder Logikplanes. Diese Fachsprachen gab es zunächst in Form firmen-spezifischer Dialekte, was die Produktbindung der Anwender fördern sollte. Später wurden die Steuersprachen sowie der Gesamtkomplex der SPS national und auch international standardisiert. Dabei wurde auch die Palette der verfügbaren Sprachen erweitert, wobei die Steuerungstechnik von der Einbeziehung einer ablauf-orientierten Sprache profitierte und eine hinzugekommene Hochsprache die Einsatzmöglichkeiten Speicherprogrammierbarer Steuerungen enorm erweiterte. Damit avancierte die SPS-Gerätetechnologie zu einem bestimmenden Mittel der Automatisierungstechnik, welche nunmehr Anwendungen ermöglichte, die weit über die reine Steuerungstechnik hinausragen.

4. Vernetzte Automatisierung

Den bisher vorwiegend als Einzellösungen (Automatisierungsinselfn) realisierten Automatisierungsprojekten folgt in der nächsten Stufe die *Verkettung* von Automatisierungslösungen. Wegbereiter dieser Technologie waren die zuvor eingeleitete Modularisierung der Automatisierungskomponenten sowie der sich inzwischen weiterentwickelte Prozessrechnereinsatz. Kennzeichnend für diese Phase ist eine Abkehr von den großen und damit teuren ganzheitlichen Prozessrechnern zugunsten einer Vielzahl kleiner miteinander verketteter modularer Lösungen mit eigenen Prozessoren. Damit wurden nicht nur funktionell, sondern auch räumlich verteilte Automatisierungslösungen realisierbar. Neben vielfältigen Anwendungen dieser neuartigen Strukturlösungen in der Industrie wendet man sich auch in der Automobilbranche zunehmend der Verknüpfung bisheriger Einzelautomatiken zu (s. später).

Mit Zunahme des Vernetzungsgrades der Einzelautomatikmodule steigt zwangsläufig der *Kommunikationsbedarf* zwischen diesen Einheiten. Dies hat unmittelbare Auswirkungen auf den benötigten Verkabelungsaufwand. Neben dem hohen Material- und Raumbedarf für die Verkabelung fällt auch der diesbezüglich entfallende Kostenanteil zunehmend ins Gewicht, welcher bis zu einem Drittel der Gesamtkosten betragen kann. Somit waren neuartige Kommunikationslösungen gefragt, welche die herkömmliche Sternkopplung ersetzen können.

Eine diesbezügliche Lösung bietet die seinerzeitige Einführung der sog. *BUS-Technologie*. Der Begriff „BUS“ ist ein Akronym für *Binary Unit Systems* und bezieht sich allgemein auf eine im Bereich der Datenverarbeitung verwendete Art der Datenkommunikation zwischen mehr als zwei Teilnehmern. Im vorliegenden Fall handelt es sich um multiplex nutzbare Übertragungskanäle, an welche mehrere Automatisierungskomponenten angeschlossen werden können und über die sie miteinander kommunizieren. Für den Anschluss dieser Komponenten an den gemeinsamen Übertragungskanal müssen diese über geeignete Bus-Schnittstellen verfügen. Die Buszuweisung (Arbitrierung) erfolgt i. Allg. im Zeitmultiplex. Jedem Busteilnehmer steht also der Übertragungskanal für eine bestimmte Zeit exklusiv zur Informationsübertragung zur Verfügung. Hinsichtlich der Struktur solcher Busse dominiert die Linientopologie. Eine Alternative bietet die Verwendung der Ringtopologie, die eine höhere Verfügbarkeit gewährleistet. Die technische Realisierung solcher Busse kann je nach Anforderungen durch verdrehte Zweidrahtleitungen, Koaxialkabel oder in Sonderfällen auch durch Lichtwellenleiter erfolgen. Die technische Ausführung von Lichtwell-

lenleiter- Bussen erfolgt zumeist in Form von ummantelten Monomodefasern. Ihr Einsatz als Kommunikationsmedium erfolgt vorzugsweise in elektromagnetisch versuchter Umgebung. Buskommunikationssysteme wurden für unterschiedliche Einsatzfälle entwickelt. Das Spektrum reicht von diversen Sensor-Aktor-Bussen über den Feldbus, Prozessbus, Profibus bis hin zum Fabrikbus. Auch die Automobilindustrie bedient sich seit einiger Zeit des Busprinzips. Dazu werden die in den Fahrzeugen verteilten und in unterschiedlichster Konfiguration vorhandenen Steuerungs- und Assistenzsysteme über einen Fahrzeugbus miteinander gekoppelt. Dabei kommt zumeist der *CAN- (Controller Area Network-)*Bus zum Einsatz.

Beim Thema Verknüpfung von Automatisierungsfunktionen ist auch über den Einsatz eines bis dahin unbekannten technischen Hilfsmittels zu berichten. Gemeint sind programmierbare *Industrieroboter*, die zunächst in der automatisierten Fertigung, und hier vor allem im Automobilbau, eingesetzt wurden. Bei diesen Einrichtungen handelt es sich um die Symbiose von einem neuartigen Produkt, einer anspruchsvollen vernetzten Automatisierungstechnik und leistungsfähigen Softwaretechnologie. Der Einsatz von Industrierobotern führte zu einer Entlastung der in der Fertigung tätigen Menschen von körperlich belastenden Arbeiten. Auf der Gegenseite kam es allerdings auch zur Freisetzung von Arbeitskräften. Industrieroboter führen selbsttätig vorbestimmte Handhabungsaufgaben wiederholt und in gleichbleibender Weise aus. Später folgten dann Spezialvarianten in Gestalt von sog. Arbeitsrobotern, welche mit geeigneten Werkzeugen ausgestattet waren. Diese übernehmen für den Menschen unangenehme und gesundheitsschädliche Arbeiten, wie sie etwa beim Schweißen und Lackieren von Karosserieteilen anfallen.

In der modernen Automobilfertigung und auch im Maschinenbau finden Industrieroboter in großer Anzahl Verwendung. Sie sind dort in den Produktionsablauf integriert, was zur Einhaltung des Produktionsrhythmus zwingt. Dementsprechend kommt es zur Verkettung der beteiligten Industrieroboter mit anderen automatisierten Teilsystemen. Ein Beispiel für die verkettete Fertigung in der Automobilindustrie unter Mehrfacheinsatz von Industrierobotern findet sich in **Bild 6**.



Bild 6 Automobilfertigung unter Mehrfacheinsatz von Industrierobotern

Die eingesetzten Handhabungs- und diversen Arbeitsroboter werden vielfach noch ergänzt durch Transportroboter, welche eigenständig die vielfältigen Transporte mechanischer Komponenten in Werkhallen und Lagern ausführen. Somit können durch Verkettung der einzelnen Arbeitsschritte ganze Produktionslinien einer Vollautomatisierung zugeführt werden.

Der nächste Schritt besteht in der Automatisierung ganzer Produktionsabteilungen. Diesem kann die Verkettung von Produktionslinien unter Einschluss der vor- und nachgelagerten Prozesse folgen. Den Produktionsebenen können wiederum weitere Ebenen überlagert werden, welche zunehmend administrativen Charakter tragen. Damit entsteht ein aus mehreren Ebenen bestehendes und hierarchisch strukturiertes Automatisierungs- und Informationssystem. In diese Richtungen zielten seinerzeit Bestrebungen zur Schaffung «Automatisierter Fabriken». Das diesen Vorstellungen zugrunde liegende Schichtenmodell veranschaulicht **Bild 7**.

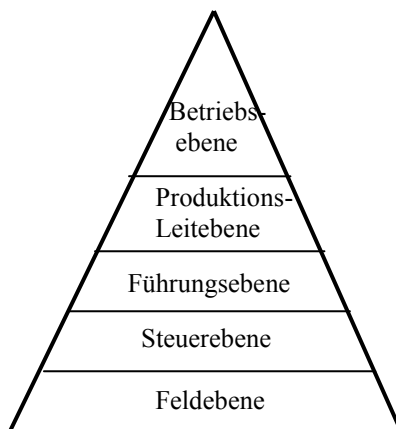


Bild 7
Kommunikationsstruktur einer vollautomatisierten Fabrik

Bei den eingesetzten technischen Mitteln dominierten auf den unteren Ebenen Automatisierungseinrichtungen, wie SPS, CNC, Regler und intelligente Sensoren und Aktoren. Nach oben hin kamen entsprechend den abnehmenden Echtzeitanforderungen zunehmend Rechner bzw. Großrechner zum Einsatz. In umgekehrter Richtung erhöhte sich fortlaufend die Informationskompression. Wurden auf den unteren Ebenen mit dem Prozess noch einzelne Signale ausgetauscht, so verdichteten sich die Informationen zunehmend nach oben hin.

Die zunächst in der mechanischen Fertigung eingesetzten Industrieroboter fanden auch in anderen Bereichen zunehmend Verwendung. Als bald wurden Roboter in Kleinformat und spezieller Ausführung bei der Herstellung elektronischer Komponenten eingesetzt, um dort das automatisierte Bestücken von Leiterplatten mit unterschiedlichen Bauelementen und auch das anschließende Prüfen zu übernehmen. Kleinroboter hielten ebenfalls Einzug in der Forschung, Pharmazie, Labormedizin und Lebensmittelindustrie. Zu den vielerlei Aufgaben solcher Spezialroboter zählen auch das Impfen und Schwenken von Proben, Abfüllen von Gefäßen, Verpacken etc. Auf diese Weise konnten weitere routinemäßige Tätigkeiten des Menschen auf technische Einrichtungen verlagert werden.

Andere Roboter, vor allem solche mobiler Art, können dazu dienen, die Menschen von der Ausübung gefährlicher oder gesundheitsschädlicher Tätigkeiten zu entlasten. Als Einsatzfelder seien hier die Entsorgung von Kampfmitteln, das Aufspüren und die Bekämpfung von Bränden, Aufräumarbeiten in nuklear verseuchten Gebieten u. a. genannt. Weitere Anwendungsgebiete von Robotern finden sich im nachfolgenden Kapitel.

Damit Roboter die ihnen zugewiesene Funktion automatisiert ausführen können, müssen sie zuvor programmiert werden. Die Programmierung bezieht sich auf die Festlegung einer dreidimensionalen Bahn, auf der sich der sog. *Tool Center Point* bewegen soll. Dies ist die Stelle der kinematischen Kette, an der der Effektor – entweder der Greifer oder das Werkzeug, – angekoppelt ist. Die Programmierung von Robotern erfolgt vorzugsweise im Rahmen eines Trainingsprozesses, was üblicherweise als *Teach In* bezeichnet wird. Die in der Frühzeit des Robotereinsatzes benutzte Form der Funktionseingabe war das sog. *direkte Teach-in*. Dazu wird der freigeschaltete Roboter durch einen menschlichen Bediener aufgabengerecht geführt, wobei gewisse während der Bahnbewegung erreichte Bahnpunkte unmittelbar abgespeichert werden. Wesentlich effektiver war das später verfügbare *indirekte Teach-In*. Hierbei handelt es sich um eine software-gestützte Programmierung, bei der entweder die Koordinaten einzelner Positionen oder auch Bahnbeschreibungen gespeichert werden. Zur Unterstützung wurden verschiedene Programmierungsumgebungen entwickelt, die die Funktionseingabe erleichtern und auch eine Funktionsprüfung vorab ermöglichen. Eine dritte Form der Funktionseingabe war die Benutzung von Robotersprachen. Hierbei handelt es sich um Fachsprachen, deren Elemente unmittelbar anschauliche Roboterbewegungen bzw. –handlungen betreffen. Die Roboterprogrammierung auf Basis des indirekten Teachens sowie bei Benutzung von Robotersprachen bietet den Vorteil, das jeweilige Programm der Roboter vor ihrem Einsatz zu entwickeln und zu testen. Damit verkürzte sich der Zeitaufwand für die Funktionszuweisung und verlängerte sich im Gegenzug die Einsatzdauer dieser teuren Einrichtungen.

Die anschließend anstehende Realisierung einer automatisch gesteuerten Bahnbewegung des *Tool Center Points* auf Grundlage der durch Teachen eingegebenen Bahnbewegung gestaltet sich durchaus anspruchsvoll. Bei einer Bahnpunkt-orientierten Eingabe ist zunächst der Bahnverlauf zu rekonstruieren, wofür eine Interpolation zwischen jeweils benachbarten Bahnpunkten benötigt wird. Da die Steuerung nur auf die in gewisser Anzahl vorhandenen Gelenke der kinematischen Struktur zugreifen kann, ist weiterhin eine Koordinatentransformation vorzunehmen, welche recht rechenintensiv ist.

5. Humanisierung der Automatisierung

Nach anfänglich reiner Produktionsorientierung hat sich die Automatisierungstechnik zunehmend dem *Menschen* zugewandt und dabei Leistungen erbracht, die ihm unmittelbar zugute kommen. Diese Unterstützungen des Menschen durch die Automatisierung können unterschiedlichen Bereichen zugeordnet werden.

Zunächst betrachten wir Automatisierung im *Haushalt* - einem Gebiet, auf dem diese Technologie dem Menschen wohl am frühesten gedient hat. Die Beiträge betreffen Steuerungen und Regelungen zunächst einfachster Art in Verbindung mit Produkten

wie Bügeleisen, elektrischen Kochstellen, Kühlschränken usw. Anspruchsvoller waren Programmsteuerungen für Waschmaschinen, Trockner und Geschirrspüler. Im Zusammenhang mit der Substitution der zunächst elektromechanischen Steuerungen durch Prozessorlösungen bot sich die Möglichkeit einer wesentlichen Erweiterung der Funktionalität. Neben einer Erhöhung der Programmvierfalt konnten nun auch neue Funktionen implementiert werden, die u. a. auf den sparsamen Verbrauch an Energie und Wasser gerichtet sind. Für die Zukunft kann man Automatisierungslösungen mit einer selbsttätigen Programmwahl erwarten. Grundlage für die Auswahl des optimalen Programms ist die Analyse des eingebrachten Waschgutes hinsichtlich seiner Menge und des Verschmutzungsgrades. Der Nutzen solcher automatisierungstechnischer Hilfen für die im Haushalt beschäftigten Menschen liegt auf der Hand.

Die nächsthöhere Ebene betrifft den sog. *home-Bereich*. Hier leistet die nun zu betrachtende *Gebäudeautomatisierung* vielfältige Dienste, welche den Menschen in Form einer Steigerung des Komforts, Erhöhung der Sicherheit und ermöglichter Energie- und damit Kosteneinsparungen zugute kommen. Im Einzelnen handelt es sich hier zunächst um die Komfortregelung des Klimas in den benutzten Räumen. Diese gewährleistet eine angenehme Innentemperatur, Luftfeuchte und Luftqualität unter allen auftretenden äußeren Wetterbedingungen. Hinzu kommt eine möglicherweise Vielzahl von Steuerungen. Zu deren Aufgaben können die Betätigung von Jalousien an Fassaden und Wintergärten zur Abweisung von Sonnenstrahlung, die Gewährleistung einer bedarfsgerechten Beleuchtung im Innen- und Außenbereich, das automatische Öffnen des Garagentors bei Fahrzeugannäherung, Sicherheitsabschaltungen elektrischer Geräte beim Verlassen des Hauses u. a. gehören. Der Leistungsumfang der Gebäudeautomatisierung erhöht sich fortlaufend, wozu insbesondere die Einbeziehung der Funktechnologie einen wesentlichen Beitrag leistet.

Ein dritter Komplex der dem Menschen zugewandten Automatisierung befasst sich mit den Anwendungen in der *Medizin* und *Medizintechnik*. Hier lässt sich zunächst von den Dienstleistungsrobotern berichten. Die von solchen künstlichen Wesen erbrachten Dienstleistungen beziehen sich einerseits darauf, den Menschen unangenehme Arbeiten abzunehmen. Bei diesem Bestreben entstanden Produkte, wie selbständig agierende Rasenmäher, Bodenreinigungsgeräte, Sortierautomaten, mobile Sicherheitsagenten u. a.

Eine anspruchsvollere Form sind die *Serviceroboter*. Diese finden inzwischen erfolgreich in Krankenhäusern Verwendung und werden dort eingesetzt, um typische Transportaufgaben, wie die Lieferung von Speisen an die Patientenbetten, den Transport von Wäsche und auch anderen Gütern, autonom zu verrichten. Zu ihren Fähigkeiten zählt die selbsttätige Orientierung und Bewegung in den Gebäuden unter Einschluss der Benutzung von Aufzügen. Die Wegplanung kann hier durch geschickte Zielangabe wesentlich erleichtert werden. Lautet diese beispielsweise „C, 324“, so analysiert der Service-Roboter zunächst die Zielangabe. Danach begibt er sich zunächst zum Haus C, sucht dort den Fahrstuhl auf, ordert nach dessen Betreten die 3. Etage und begibt sich nach deren Erreichen auf die Suche nach Zimmer 324.

Eine andere Kategorie bilden die *persönlichen Roboter*. Diese wurden speziell zur individuellen Unterstützung Behinderter entwickelt. Zu den Fähigkeiten derartiger künstlicher Butler gehört beispielsweise das Öffnen einer Tür auf Befehl, das Besor-

gen eines gewünschten Getränks aus dem Kühlschrank, das Tragen und Absetzen eines Tablett auf dem Tisch, das Schieben eines Wagens u. a. m. Höhere Versionen dieser künstlichen Wesen sind sogar lernfähig und können sich den Bedürfnissen und Gewohnheiten ihrer Nutzer anpassen. Die Befehlseingabe erfolgt zumeist auf Sprachebene. Dabei kann es wegen unpräziser oder unverständlicher Angaben zu Missverständnissen kommen.

Roboter, die mit Personen verkehren, sollten nach Möglichkeit eine menschenähnliche Gestalt besitzen und werden dementsprechend *humanoide Roboter* genannt (s. **Bild 8**).



Bild 8
humanoider Roboter *ASIMO* (Honda/Japan)

Ebenfalls bekannt sind Roboter in Tiergestalt. Diese besitzen ein ansprechendes Äußeres mit kuscheligem Fell und reagieren im Dialog tierähnlich. Diese sollen den alten Menschen und Demenzkranken nicht nur die Zeit vertreiben, sondern können durchaus auch therapeutische Erfolge erzielen. Roboter in menschen- bzw. tierähnlicher Gestalt werden vorzugsweise in Japan entwickelt und wohl auch nur dort eingesetzt.

Zu den Roboteranwendungen in der Medizin gehören neuerdings auch *Operationsroboter* (**Bild 9**).



Bild 9
Operationsroboter *Da Vinci* (USA)

Die Verlagerung chirurgischer Leistungen auf technische Automaten bzw. Roboter erweist sich dann als sinnvoll, wenn es sich um Handlungen in einem eng begrenzten und hochsensiblen Operationsgebiet, wie etwa im Bereich des Gehirns oder der Wirbelsäule, handelt, bei denen höchste Präzision gefordert ist. Der Ablauf der chirurgischen Handlungen wird vor der eigentlichen Ausführung zunächst an einem Modell erprobt, das zuvor auf Grundlage von Messungen erstellt wurde. Damit wird auf Me-

thoden zurückgegriffen, die bereits in der Frühzeit der Automatisierungstechnik entwickelt wurden.

Ein weiteres recht anspruchsvolles Feld medizinischer Anwendung der Automatisierungstechnik ist die *Prothetik*. Diese Verwendungsart soll Amputierten und Querschnittsgelähmten zugute kommen, indem verlorengegangene Körperfunktionen durch Verwendung elektronisch gesteuerter Prothesen und Orthesen ersatzweise weitgehend wiederhergestellt werden. Moderne Produkte dieser Art verfügen neben einer komplizierten Mechanik über eine komplexe Automatik, die diverse Sensoren, eine oft größere Anzahl von Gelenkmotoren sowie eine überaus komplexe Steuereinheit, umfasst. Problematisch ist vor allem die Steuerung dieser Hilfen. Derzeitiger Standard ist die Ableitung der Bewegungsbefehle von der körpereigenen Muskulatur. Man arbeitet aber auch bereits an der gedanklichen Steuerung dieser technischen Hilfen. Neben benutzer-gesteuerten Hand- und Beinprothesen gibt es inzwischen auch sog. Exoskelette (*Ekson Bionics/USA*). Solche elektrisch gesteuerten „Anzüge“ ermöglichen selbst Querschnittsgelähmten ein eigenes roboter-unterstütztes Laufen zumindest auf kürzere Entfernungen.

Die Einsatzmöglichkeiten der Automatisierungs- und Kommunikationstechnologie in der Medizin werden sich zukünftig noch erweitern. Bereits absehbar sind Anwendungen in Bezug auf das *Telemonitoring*. Hierbei geht es um die Fernüberwachung von Patienten, die sich in ihrem Wohnumfeld befinden. Bei der Patientenüberwachung werden unterschiedliche biometrische Sensoren eingesetzt, die Daten, wie Herzfrequenz, Puls, Blutzucker, Sauerstoffsättigung u. a. erfassen oder sogar das EKG aufnehmen können. Diese Sensoren müssen nicht notwendigerweise am Patienten angelegt sein, sondern können auch in die Kleidung oder Matratze integriert sein. Die erfassten biometrischen Daten werden entweder turnusmäßig oder bei Grenzwertüberschreitung per Mobilfunk an den behandelnden Arzt übermittelt, der daraufhin seine Entscheidungen über das weitere Vorgehen trifft. In bestimmten Fällen ist auch eine automatische Medikamentierung, etwa eine dosierte Insulinzufuhr, denkbar, wobei ein geschlossener Wirkungsablauf entsteht. Das Telemonitoring kann manchen Patienten unangenehme Klinikaufenthalte ersparen, ihre Lebensqualität verbessern und auch einen Beitrag zur Kostensenkung im Gesundheitswesen leisten.

Es ist noch darauf zu verweisen, dass die Automatisierungstechnik rückwirkend auch von Erkenntnissen aus der biologischen Welt profitiert hat. Dies betrifft insbesondere die Ausarbeitung biologisch inspirierter *Methoden*.

In die Automatisierungstechnik haben einerseits neuartige Optimierungsverfahren Eingang gefunden, die ihren Ursprung in der *Evolution* haben und gegenüber klassischen Verfahren eine Zufallskomponente enthalten. Solche Optimierungsverfahren sind sehr effizient, wie anhand einer Vielzahl von Anwendungen unterschiedlichster Art bereits getestet wurde. Zur komfortablen Nutzung derartiger Evolutionsstrategien kann eine sog. Evolutionsstrategische Maschine eingesetzt werden. Ihr Gebrauch unterstützt das Design unterschiedlicher Evolutionsstrategien und deren Anwendung auf modellierte Anwendungsszenarien. Die Leistungsfähigkeit verschiedener Evolutionsstrategien kann dann anhand simulativer Tests überprüft werden.

Eine weitere genutzte biologische Anregung betrifft die technische Nutzbarmachung neuronaler Strukturen. *Künstliche Neuronale Netze* haben verteilten Charakter und wurden in verschiedenen Strukturvarianten entwickelt. Sie bieten vielfältige Anwendungsmöglichkeiten auf verschiedenen Gebieten. In der Automatisierungstechnik erlangten insbesondere sog. Neuronenregler eine gewisse Bedeutung.

Aus der Art, wie Menschen Wissen gewinnen und verarbeiten, können ebenfalls wertvolle Anregungen gewonnen und für die Automatisierungstechnik nutzbar gemacht werden. Hier ist insbesondere auf das in der *Fuzzy Set Theory* niedergelegte Konzept der *unscharfen Logik* zu verweisen, welches die Erfassung und Verarbeitung von unscharfem Wissen ermöglicht. Die Anwendung dieser Methodik ermöglicht die komfortable Eingabe von vorhandenem Problemwissen unter Verwendung von (Produktions-)Regeln. Die in solchen Regeln enthaltenen Aussagen können durchaus qualitativen Charakter haben, also unscharf sein. Diese Regeln können sogar in sprachlichen (linguistischen) Termen formuliert werden. Ein derartiger Satz von (Produktions-)Regeln stellt dann die Wissensbasis dar. Der Wirkungsmechanismus solcher Fuzzy-Systeme besteht dann darin, dass bei Vorliegen einer (Prozess-)situation aus der Regelbasis eine unscharfe Schlussfolgerung gezogen wird. In einem nachfolgenden Schritt wird dann diesem Ergebnis ein scharfer Wert zugewiesen. Eine hier besonders interessierende Anwendung von Fuzzy-Systemen sind die sog. Fuzzy-Regler. Diese haben die Automatisierungstechnik um eine unkonventionelle Technologie bereichert. Der Vorzug solcher Regler besteht einerseits im einfachen Entwurf durch regelbasierte Eingabe von bei Menschen vorhandenem (Regelungs-)wissen. Damit bietet sich ein direkter Weg zur Übertragung menschlichen Regelungsverhaltens auf Automaten. Zum anderen bieten die auf solche Weise entworfenen Regler ein nichtlineares Verhalten und sind somit oft effektiver als konventionelle Regler. Der Entwurf und Test solcher Fuzzy-Systeme wird durch spezielle Softwarewerkzeuge unterstützt. Neben diversen firmenspezifischen Angeboten enthält auch die Werkzeugkiste (*Tool Kit*) von *MATLAB* eine solche Support-Software.

6. Mobile Automatisierung

Die älteste Steuerung in Kraftfahrzeugen bezieht sich auf das Öffnen und Schließen der Ventile im Rhythmus der Kolbenbewegungen. Diese Motorsteuerung erfolgt allerdings mit rein mechanischen Mitteln. Inzwischen sind zahlreiche Steuerungen auf rein elektronischer Basis hinzugekommen, die nicht nur den Betrieb des Antriebs sondern auch das Bewegungsverhalten des Fahrzeuges betreffen. Beispiele solcher Automatisierungslösungen sind diverse Motorsteuerungen inklusive Zylinder- und Motorabschaltung an Kreuzungen, die Abgasregelung mit λ -Sonde, das Automatikgetriebe, Antiblockiersystem (*ABS*), die Abstandsregelung mit bedarfsweisem Bremseneingriff (*EBS*), das Elektronische Stabilitätsprogramm (*ESP*) u. a. m.

Ein weiterer Schwerpunkt der Automatisierung in Kraftfahrzeugen sind die sog. *Assistenzsysteme*. Die Entwicklung solcher Systeme wurde von der Automobilindustrie und den großen Zulieferern (bspw. Bosch) vorangetrieben. Diese sollen den Fahrer entlasten und auch die Sicherheit der Insassen erhöhen. Das Ziel besteht darin, Unfälle möglichst zu verhindern oder zumindest deren Folgen zu minimieren. Assistenzsysteme sollen Hilfen für den Fahrer sein. Dieser behält dennoch die Hauptverantwortung für die Fahrzeugführung. Dementsprechend agiert die Automatik als aufmerksa-

mer Beobachter und Gefahrenwarner im Hintergrund. Beim Auftreten bedrohlicher Situationen informiert sie den Fahrer durch Ausgabe gestufter Warnsignale. Werden diese Warnmeldungen jedoch ignoriert oder es treten Extremsituationen auf, dann greift die Automatik selbsttätig durch geeignete Betätigung der Bremse bzw. Lenkung in den Fahrprozess ein. In diesem Fall erfolgt somit eine Prozessrückkopplung.

Bei den Assistenzsystemen handelt es sich um spezialisierte Einzellösungen, die auf die Minderung jeweils eines Gefahrenaspekts gerichtet sind. Diese Hilfen richten sich auf die Einhaltung des Abstandes zum vorausfahrenden Fahrzeug, überwachen Abweichungen von der Fahrspur, erfassen den Wachzustand des Fahrers, geben Unterstützung beim Einparken, überwachen den Totwinkel, erkennen und deuten Verkehrszeichen, erzeugen eine optimale Ausleuchtung der Fahrbahn bei Nachtfahrten etc. Das Angebot solcher Assistenzsysteme erhöht sich fortlaufend. In Fahrzeugen der Premiumklasse können bis zu einem Dutzend solcher Systeme vorhanden sein. Für die Wirksamkeit solcher Assistenzsysteme spricht, dass es gelungen ist, die Anzahl der Verkehrsunfälle und Unfalltoden trotz laufend erhöhtem Verkehrsaufkommen zu senken. Eine – notwendigerweise unvollständige – Übersicht über das Angebot an Assistenzsystemen in Automobilen veranschaulicht **Bild 10**.

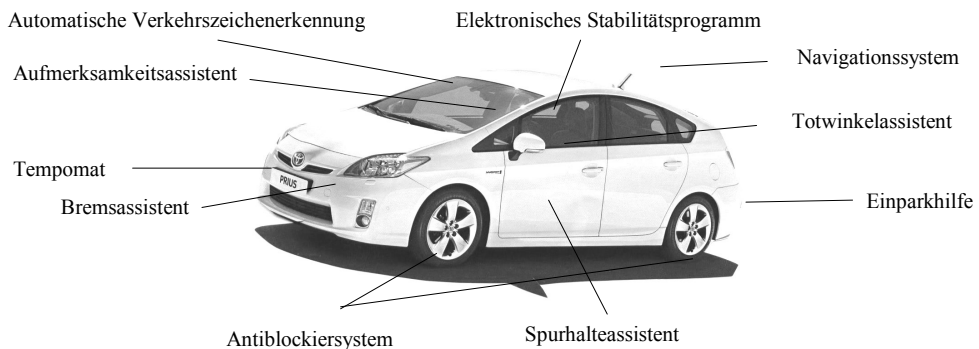


Bild 10 Ausrüstung eines Mittelklasse-PKWs mit Assistenzsystemen

Die weitere Entwicklung auf dem Gebiet der Fahrzeugautomatisierung verläuft in Richtung einer zunehmenden *Vernetzung* der Automatisierungskomponenten. Dazu werden die bislang zur Lösung von Einzelaufgaben vorgesehen Assistenzsysteme informationell und teilweise auch physisch vernetzt. Die Verknüpfung beginnt bereits bei den Sensordaten (*sensor fusing*), wobei aus den erhaltenen Einzelinformationen ein – möglicherweise redundantes – Gesamtbild der vorliegenden Fahrsituation ermittelt wird. Auf dieser Grundlage können dann selbsttätig fundierte Entscheidungen bezüglich der Auswahl der wirksamsten Maßnahmen zur Bewältigung gefahrenträchtiger Situationen getroffen werden. Die Automatik impliziert auch intelligente Funktionsmerkmale, indem ein vorausschauendes Verhalten (*presave behaviour*) realisiert wird. Dementsprechend werden bereits bei der Ankündigung einer Gefahrensituation Schutzmaßnahmen (bspw. eine Straffung der Gurte, Entriegelung der Türen) eingeleitet, die jedoch bei Vermeidung der Gefahr auch wieder selbsttätig aufgehoben werden.

7. Intelligente Automatisierung

Für die bisher betrachteten Automatisierungslösungen ist charakteristisch, dass ihre Funktion stets erst in einem mehr oder weniger aufwändigen Entwurfsprozess bestimmt und danach implementiert werden muss. Damit ist sie eindeutig festgelegt. Die Verwendung solch starrer Funktionen in Automatisierungseinrichtungen ist in vielen Fällen durchaus erfolgreich, solange es sich um die Automatisierung von Prozessen mit zeitinvariantem Verhalten handelt.

Diese Prozesseigenschaft ist jedoch nicht immer anzutreffen. Um auch Prozesse mit zeitvariablem Verhalten einer Automatisierung zugänglich zu machen, muss die Funktionalität in Bezug auf die Fähigkeit zur Anpassung erweitert werden. Die hierzu in mehreren Versionen entwickelten *Adaptiven Automatisierungssysteme* sind durch eine zweistufige Struktur gekennzeichnet. In der übergeordneten Ebene werden möglicherweise auftretende zeitliche Veränderungen des Prozesses (der Prozessumgebung) ermittelt, was zumeist nur indirekt über die Veränderung eines Gütwertes gelingt. Daraufhin werden in geeigneter Weise Korrekturgrößen bestimmt und an den in der unteren Ebene angesiedelten Grundalgorithmus ausgegeben, wobei dieser in geeigneter Weise modifiziert wird. Auf diese Weise gelingt die Aufrechterhaltung eines auch unter veränderten Bedingungen zumindest günstigen, nach Möglichkeit auch optimalen Verhaltens.

Einen — wenn auch niedrigen — Grad an Intelligenz weisen *problemlösende und planende Automaten* auf. Das hervortretende Merkmal solcher Automaten besteht darin, dass sie in der Lage sind, ihnen übertragene Aufgaben selbständig zu lösen. Für die Ausführung ihrer Aufträge wird ihnen nur das Ziel mitgeteilt; den Weg dorthin müssen sie selbst finden. Die Handlungsweise derartiger Steuerungen kann daher nicht durch eine bis ins Einzelne vorab festgelegte Funktion bestimmt werden. Die Besonderheit besteht vielmehr darin, dass situationsabhängig eigenständig Entscheidungen getroffen werden müssen.

Der einfachste Typ problemlösender Automaten liegt vor, wenn Aufgaben *gleichbleibender Art* wiederholt zu erledigenden sind, wobei allerdings die Umstände variieren. Ein Anwendungsbeispiel solcher Automaten findet sich bei Industrierobotern, deren Aufgabe darin besteht, ungeordnete Teile jeder Lage aus einer Kiste zu ergreifen und diese anschließend auf vorgegebene Positionen zu platzieren. Ein anderes Beispiel sind Arbeitsroboter, die das wiederholte Entgraten gegossener oder geschmiedeter Werkstücke mit variierender Gratausprägung selbständig erledigen sollen.

Der Schwierigkeitsgrad erhöht sich, wenn von den Automaten die Ausführung von Aufgaben *unterschiedlicher Art* verlangt wird. Die jeweilige Aufgabe wird dann von einer externen Instanz, dem Auftraggeber, an den Automaten delegiert, welcher somit als Auftragnehmer fungiert. Der übermittelte Auftrag enthält das erwartete Ergebnis — also die Zielstellung — sowie ggf. zu beachtende Randbedingungen. Der Automat ist bei der Problemlösung auf sich selbst gestellt. Dabei ist der erteilte Auftrag unter wechselnden und a priori unbekannten Bedingungen selbständig schrittweise auszuführen, wobei diverse Entscheidungen zu treffen sind. Während der Auftragsausführung interveniert der Auftragnehmer im Idealfall nicht mit dem Auftraggeber und meldet sich erst nach Erledigung seines Auftrages bei diesem.

Die hier beschriebene Aufgabenstellung für problemlösende Automaten erinnert sehr an die Handlungsweise von Agenturen, wie wir sie von Maklern, Reisebüros, Arbeitsagenturen, Zulassungsstellen u. a. kennen. Dies ist wohl der Grund, weshalb die hier betrachteten Automaten *Künstliche Agenten* genannt werden [5]. Allgemein ausgedrückt, handelt es sich hier um technische Wesen, die ermächtigt werden und in der Lage sind, eigene Aktivitäten zu entfalten und dabei weitgehend selbständig und zielgerichtet zu handeln. Künstliche Agenten verfügen über einen sog. Agentenkörper, eine umfassende Sensorik zur Erkennung der äußeren Bedingungen sowie eine komplexe Informationsverarbeitungseinrichtung.

Problemlösende Automaten unterscheiden sich von den ursprünglich behandelten Automatisierungssystemen dadurch, dass sie nicht nur *selbsttätig* funktionieren, sondern auch in der Lage sind, *selbständig* zu handeln. Damit verkörpern sie eine gehobene Klasse von Automatisierungssystemen mit höherwertigerer Funktionalität.

Ein besonderer Anwendungsschwerpunkt für künstliche Agenten sind solche, die über die Fähigkeit des Reisens verfügen. In unserer Sprache kann man diese Wesen auch als *mobile Roboter* bezeichnen. Die Reiseaufträge mobiler Agenten betreffen zumeist das Erreichen vorgegebener Zielpositionen. Diese Ziele können von der Ausgangsposition aus betrachtet, durchaus verdeckt sein, was die Problemlösung erschwert, da ein u. U. komplizierter Kurs gefunden werden muss. Während der Fahrt oder auch am Zielort kann bedarfsweise auch die Ausführung bestimmter Arbeiten verlangt werden. Zur Erfüllung der jeweiligen Aufgabenstellung müssen solche Agenten in der Lage sein, eigenständig zu navigieren ohne mit der Umgebung zu kollidieren.

Eine wesentliche Kategorie von Aufgaben für mobile Agenten ist mit der Navigation in einer *strukturierten* Umgebung verbunden. Zu den Beispielen land-gestützter Einsatzfälle dieser Art gehören autonom agierende Fahrzeuge, die auf Schienennetzen verkehren, wie etwa die sog. *Carrier* in Fabrikationshallen oder fahrerlose U-Bahnen (Versuchsbetrieb in Nürnberg). Es gibt auch bereits Lösungen für selbstfahrende Autos, die sich autonom und verkehrssicher in Straßenverkehrsnetzen bewegen. Die Aufgabe vereinfacht sich, wenn die Agenten über eine digitale Karte verfügen. In diesem Fall können sie ihre Route planen, wobei verschiedene Kriterien (kürzeste Gesamtzeit, minimale Weglänge u. a.) berücksichtigt werden können.

Komplizierter wird die Aufgabe, wenn solche Karten nicht zur Verfügung stehen oder die Agenten sich gar in *unstrukturierter* Umgebung bewegen müssen. Die Umgebung von den Agenten muss nun umfassend sensorisch erfasst werden, um sich ein Bild von der Umgebung zu machen und daraus Schlüsse bezüglich der Zielannäherung zu ziehen. Im einfachsten Fall betrifft die Ausrüstung mehrere in verschiedene Richtungen wirkende Sensoren, welche die Entfernungen des eigenen Fahrzeuges relativ zu Begrenzungen der Umgebung bzw. zu Hindernissen erfassen. Die ermittelten Daten werden dann miteinander verrechnet, um daraus Schlüsse für die weitere Navigation des eigenen Fahrzeuges zu ziehen. Eine aufwändigere Ausstattung ist die Verwendung eines Laserscanners, der die Umgebung abtastet. Auf offener See versagt auch diese Art der Navigation. In diesem Fall muss der eigene Standort fortlaufend erfasst, der Kurs in Bezug auf das Ziel bestimmt und möglichst getreu verfolgt werden. Moderne Agentenlösungen verfügen zu diesem Zweck zusätzlich über ein Satelliten-

gestütztes Navigationssystem (*GPS Global Positioning System*), das weltweit Navigationsinformationen liefert. Weiterhin muss die aktuelle Umgebung beständig überwacht werden, damit im Gefahrenfall Kurskorrekturen vorgenommen werden können, um Kollisionen zu vermeiden. Hilfreich ist die Einbeziehung weiterer Informationsquellen, die Wetterdaten im angesteuerten Operationsgebiet liefern oder auch Mitteilungen anderer Instanzen enthalten.

Beispielhaft sei hier auf das spektakuläre Projekt einer unbemannten Segelyacht verwiesen, welches an der FH Furtwangen in interdisziplinärer Gemeinschaftsarbeit durchgeführt wurde [6]. Für den Agentenkörper wurde aus Stabilitätsgründen die Form eines Trimarans gewählt. Als Funktionsnachweis war zunächst eine unbemannte Atlantiküberquerung von Hamburg nach Kapstadt gewählt worden (**Bild 11**). Nach Zurücklegung von mehr als der halben Strecke musste der Törn allerdings abgebrochen werden, und zwar nicht etwa aus technischen, sondern vielmehr aus seerechtlichen Gründen. Dennoch war dies eine großartige Leistung.

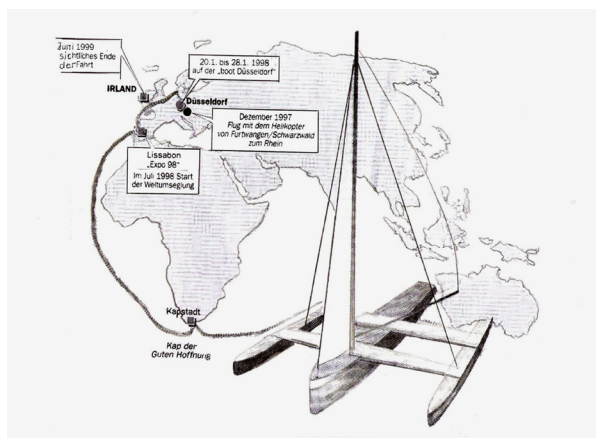


Bild 11 Atlantiküberquerung eines autonom agierenden Trimarans

Autonome schwimmende Agenten wurden versuchsweise auch im Tiefwasserbereich zur Erkundung des Meeresbodens eingesetzt. Derartige Tauchroboter verrichten selbständig die ihnen übertragene Aufgabe ohne Kontakt zur Außenwelt, bis sie von einem Begleitschiff aus den Befehl zum Auftauchen erhalten.

Bleibt noch der Hinweis auf den Einsatz mobiler Agenten im Luftraum. Hier ist insbesondere auf eine Verwendung in Gestalt unbemannter, sowohl unbewaffneter als auch waffen-tragender Drohnen wie auch unbemannter Flugzeuge zu verweisen. Die Entwicklung solcher Systeme wird erwartungsgemäß von militärischer Seite stark gefördert.

Mobile Agenten finden außerdem bei Weltraummissionen zunehmend Anwendung. Ein wesentlicher Einsatzgrund ist die im Weltraum bzw. auf anderen Himmelskörpern herrschende für Menschen unverträgliche Atmosphäre. Derartige Geschöpfe wurden bereits von der NASA in menschen-ähnlicher Gestalt entwickelt und erhielten den bezeichnenden Namen *Robonaut* (**Bild 12**).

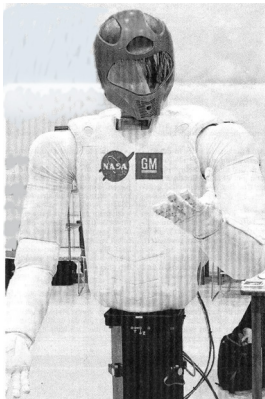


Bild 12 Robonaut der NASA

Diese automatischen Astronauten sind zunächst für die Erledigung routinemäßiger Arbeitsaufgaben innerhalb von Weltraumstationen konzipiert. Demnächst soll ein solcher Robonaut zusammen mit 6 menschlichen Astronauten zur Raumstation ISS fliegen. Weiterhin sind Verwendungen solcher künstlicher Astronauten zur Ausführung von Wartungs- und Reparaturarbeiten außerhalb der Transportkapseln bzw. Raumstationen sowie auch für den Einsatz auf erdfernen Himmelskörpern vorgesehen.

In allerjüngster Zeit wurde die erfolgreiche Realisierung eines ebenfalls von der NASA durchgeführten Projekts zur Exploration der Marsoberfläche bekannt gegeben, das geradezu als Paradebeispiel für den Einsatz mobiler Agenten gelten kann. Kernstück der Mission war der mit der Sonde *Reconnaissance* ausgeführte Transport und das weiche Absetzen auf der Planetenoberfläche eines mobilen Marsroboters (**Bild 13**). Dieses über 9 t schwere Vehikel namens *Curiosity* (Neugier) verfügt neben einem robusten 6-rädrigen Fahrwerk über eine bordeigene langlebige Energieversorgung, Effektoren zur Entnahme von Bodenproben, eine umfassende Sensorik zur Umgebungserfassung sowie ein sog. Marslabor zur Analyse von Bodenproben. Besonders heikel war die Landeprozedur, die ein automatisches Abbremsen von 21.000 auf 0 km/h erforderte und in mehreren Schritten erfolgte. In den letzten 7 min. gab es überhaupt keinen Funkkontakt mit der Erde, und somit war auch keine Kontrolle des Landungsvorgangs möglich. Auch die inzwischen aufgenommene Arbeitstätigkeit des Marsroboters muss wegen der langen Signallaufzeiten zur Erde weitgehend selbständig erfolgen. Die erfolgreiche Durchführung dieses mehrere Milliarden teuren Projekts wird zu Recht als beispiellose Technologieleistung gefeiert, an der auch die Automatisierungstechnik einen hohen Anteil hat.



Bild 13 Mobiler Marsroboter *Curiosity* (NASA/USA)

Die Anforderungen an die Agentenfunktionalität steigen drastisch, wenn sich mehrere Agenten in einem System befinden. Derartige *Multi-Agenten-Systeme (MAS)* können beispielsweise entstehen, wenn Aufgaben zu erledigen sind, welche die Leistungskraft einzelner Agenten übersteigen. Das Erbringen gemeinschaftlicher Leistungen erfordert dann ein *kooperatives* Verhalten der Einzelagenten, wozu sie sich miteinander verabreden und ihre Tätigkeiten koordinieren müssen. Der häufigere Fall ist dadurch gekennzeichnet, dass Agenten untereinander *konkurrieren*. Die Konkurrenz kann sich auf den Wettbewerb um ausgeschriebene Aufträge oder auch um eine gemeinsame Ressource beziehen. Der letztgenannte Fall liegt beispielsweise vor, wenn mehrere mobile Agenten sich ein gemeinsames Fahrnetz teilen müssen. Diesbezügliche Anwendungen sind der Verkehr mehrerer Transportroboter in Werkhallen oder autonomer Fahrzeuge in öffentlichen Straßen- oder Schienennetzen. Zur Konfliktlösung können allgemein akzeptierte Regeln (etwa die im Straßenverkehr üblichen Vorfahrtsregeln) dienen, oder die Kontrahenten müssen untereinander kommunizieren und miteinander in Verhandlung treten, um auf diese Weise zu einer Einigung zu gelangen.

Technische Agenten verfügen zumeist nicht über ein „Gedächtnis“, sodass selbst gleichbleibende Aufgaben immer wieder erneut gelöst werden müssen. Dies lässt sich ändern, wenn die Agenten mit der Fähigkeit zum (Selbst-)Lernen ausgestattet werden. Damit werden dann höherwertige Verhaltenseigenschaften verlangt, die Merkmale der *Künstlichen Intelligenz* aufweisen.

Eine spezielle Kategorie intelligenter Systeme sind *lernfähige Automaten* (s. [1], Kap. 12). Ihre Wirkungsweise basiert auf dem Erwerb und der Verarbeitung von *Wissen*. Wissensverarbeitende Systeme sind gegenüber den informationsverarbeitenden Systemen von höherer Qualität. Ihr innerer Aufbau ist gekennzeichnet durch das Vorhandensein einer Komponente zum Wissenserwerb in Form eines Metaalgorithmus, einer sog. Wissensbasis, in der das erworbene Wissen gespeichert ist, und eines Moduls zur Wissensverwertung. Das Wissen wird der Wissensbasis im Verlauf eines Lernprozesses schrittweise angereichert. Die Wissensverwertung konstruiert unter Zugriff auf die Wissensbasis ein Verhaltensmodell, welches mit zunehmendem Wissenszustand verbessert und allmählich komplettiert wird. Eine vielfach benutzte Modellbeschreibung ist die Verwendung bewerteter Graphen, an denen eine Optimierung vorge-

nommen wird. Bedeutsame *Methoden* bei der Entwicklung lernfähiger Systeme sind daher die Graphen- und Optimierungstheorie.

Lernfähige Systeme können mehrere Lernformen realisieren, die unterschiedliche Grade der Intelligenz verkörpern. Die einfachste Form ist das *Lernen durch Nachahmen*, auch als Einlernen bezeichnet. Dieses Verfahren stellt eine Vorform des Lernens dar und wird beispielsweise beim Trainieren von Robotern eingesetzt. In ähnlicher Weise können aber auch Regler und Steuereinrichtungen von einer externen Instanz mit vorliegendem Expertenwissen trainiert werden. Die zweite Kategorie von Lernsystemen verkörpert das Prinzip des *Lernens mit Belehrung* bzw. *Bekräftigung*. Auch in diesem Fall wird das Problemwissen einer externen Instanz übertragen, was dem Wissenserwerb von Kindern in der Schule ähnelt. Die anspruchsvollste Kategorie der bisher realisierten lernfähigen Systeme ermöglicht das *Lernen aus (eigener) Erfahrung*. Hierbei handelt es sich um den Fall des *Selbstlernens*, der Eigeninitiative des lernenden Systems voraussetzt. Die Funktionsweise solcher Systeme ist dadurch gekennzeichnet, dass in gezielter Auswahl Handlungen generiert und die zugehörigen Prozessreaktionen bezüglich des Lernziels ausgewertet werden. Hierbei werden nur die erfolgreichen Lernergebnisse bewahrt, während die Fehlschläge verworfen werden. Einsatzfälle solcher lernfähiger Automaten sind vor allem dort gegeben, wo nur wenige oder gar keine a Priori-Informationen über sinnvolles Verhalten vorliegen. Derartige Umstände liegen beispielsweise beim Einsatz mobiler Weltraumfahrzeuge in unbekannten Umgebungen auf erdfernen Planeten vor.

Lernfähige Automaten verfügen im Gegensatz zu konventionellen Automatisierungssystemen nicht über eine festgelegte Funktionalität. Vielmehr muss eine solche erst im Verlauf eines Lernprozesses erworben werden. Dabei tritt an Stelle des üblichen Systementwurfs ein Lernprozess, dessen Durchlauf je nach Lernform mit mehr oder weniger hohem Zeitaufwand verbunden ist. Diesem Nachteil steht einerseits die große Flexibilität lernfähiger Systeme gegenüber, da Funktionsänderungen jederzeit durch Nach- oder auch Neulernen möglich sind. Von großem Vorteil ist weiterhin die sofortige Handlungsbereitschaft. Diese Fähigkeit beruht darauf, dass beim wiederholten Auftreten gleicher oder ähnlicher Situationen bzw. Aufgaben auf den in der Wissensbasis gespeicherten Fundus zurückgegriffen werden kann.

8. Kommunikationsgestützte Automatisierung

Zunächst ist festzustellen, dass Kommunikation bei jeder Art von Automatisierungssystemen von essentieller Bedeutung ist. Die Notwendigkeit des Informationsaustausches ergibt sich bereits aus der Funktionsweise von Automatisierungssystemen, welche auf dem wechselseitigen Dialog zwischen Automatisierungseinrichtungen und den von ihnen gesteuerten Prozessen beruht. Ein weiterer Kommunikationsbedarf ergibt sich bei dezentralisierten Automatisierungslösungen infolge des notwendigen Zusammenwirkens der oft räumlich weitverteilten automatisierungstechnischen Komponenten. Weitere Kommunikationsbedürfnisse bestehen bei mobilen Automaten. Hier besteht die Notwendigkeit der Kommunikation mit einer stationären Infrastruktur wie auch zwischen den mobilen Systemen untereinander. In anderen Fällen ist wiederum ein Informationsaustausch zwischen Automaten und ihrer Umgebung teilweise beträchtlichen Umfangs notwendig. Schließlich bestehen auch Kommunikationsbedürfnisse zwischen Menschen und Automatisierungseinrichtungen. All diese

Kommunikationen benutzen weitgehend leitungsgebundene Übertragungskanäle. Bevorzugte Mittel sind elektrische Leitungen, in Sonderfällen werden auch Lichtwellenleiter eingesetzt.

Einen bemerkenswerten Fortschritt auf dem Gebiet der Kommunikation ermöglicht das derzeit rapide Vordringen der *Funktechnologie*. Ihre verbreitete Nutzbarkeit gründet sich auf den an Land inzwischen flächendeckend gelungenen Ausbau der dazu nötigen Infrastruktur. Damit bestehen die notwendigen Voraussetzungen, um von jedem Ort aus und zu jeder Zeit zu kommunizieren. Auf offener See besteht die Möglichkeit der Satellitenkommunikation, welche allerdings mit erheblichen Kosten verbunden ist.

Die neu erschlossenen Kommunikationsmöglichkeiten auf Funkbasis wurden von den Menschen zuerst für den Sprach-, Bild- und später auch Datenaustausch genutzt. Dazu wurden die ursprünglich nur den Sprachaustausch ermöglichenden Mobiltelefone zu Handys, die bald mit miniaturisierten Kameras ausgestattet wurden. Damit wurde nicht nur eine Bildübertragung der Gesprächspartner, sondern mit wachsender Bildauflösung auch eine Übertragung von Photos und Videos möglich. Das menschliche Kommunikationsbedürfnis erweiterte sich bald um den Wunsch nach mobilem Zugriff auf die weltweit verteilten Informationsquellen, insbesondere solche im Internet. Dementsprechend wurden die Endgeräte unter Integration immer leistungsfähigerer Miniaturcomputer funktionell aufgerüstet und in Gestalt von iPhone, iPad, Smartphone und Tablet-PC immer kürzerer Generationsfolge auf den Markt gebracht. Mit diesen Endgeräten ist nunmehr auch der Zugriff auf die Fülle der im Internet angebotenen Dienste jederzeit und von überall aus möglich.

Das derzeit bereits verfügbare gewaltige Leistungspotenzial der Mobilfunktechnologie eröffnet auch der Automatisierungstechnik ganz neuartige und vielversprechende Perspektiven. Der Mensch erlangt dank dieser Mittel nunmehr die Möglichkeit des mobilen Zugriffs auf die vielfältigen Automatisierungseinrichtungen, die in seinem Haus oder auch Fahrzeug verteilt sind [7]. Damit rückt der Mensch ins Zentrum der ihn umgebenden Automatisierungssysteme.

Die neuen Möglichkeiten des kommunikativen Zugriffs beziehen sich einerseits auf die *Gebäude*, in denen immer mehr elektronisch gesteuerte Systeme in den Räumen, Fluren und auch im häuslichen Umfeld installiert und miteinander vernetzt sind. Die im Wohnhaus vorhandenen Einzelautomatiken können nun per Funkkommunikation fernbetätigt werden. Dies bezieht sich beispielsweise auf die Verstellung von Temperatursollwerten in den Wohnräumen, das Anschalten des Kochherds zwecks rechtzeitiger Erwärmung des Mittagmahles, das Hochfahren der Jalousien, Öffnen des Garagentors vor Erreichen des Wohnhauses u. a. m. Umgekehrt kann nach Verlassen des Hauses per Handy abgefragt werden, ob die Haustür, das Garagentor und alle Fenster ordnungsgemäß geschlossen sind, der Herd und das Licht ausgeschaltet sind und die Raumtemperatur heruntergefahren wurde. Bei festgestellten Unterlassungen können dann korrigierende Befehle an die Automatiken erteilt werden. Der neue Service dient somit der Verbesserung des häuslichen Komforts und der Sicherheit. Das bestehende Handlungspotenzial kann auch zum Sparen von Energie und Wasser genutzt werden, indem beispielsweise die Inbetriebnahme der Waschmaschine oder des Geschirrspülers per Ferneingabe in Zeiten billigen Stroms verlagert wird.

Die Nutzung der zuvor geschilderten Kommunikationsdienste einschließlich Internetzugang und Zugriff auf die hauseigenen Automatisierungssysteme sind auch vom *Fahrzeug* aus möglich. Darüber hinaus steht auch die Funkkommunikation von Fahrzeug zu Fahrzeug kurz vor ihrer Einführung. Die damit erstmalig geschaffene Möglichkeit des Informationsaustauschs zwischen verschiedenen Fahrzeugen kann dann beispielsweise genutzt werden, um sich untereinander vor in Fahrtrichtung befindlichen Unfällen, festgestelltem Nebel oder Glatteis zu warnen. In der erweiterten Form der *Car-to-X*-Kommunikation wird zusätzlich ein Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen und einer am Fahrbahnrand errichteten Infrastruktur ermöglicht. Von dort aus können Meldungen über Staus, Geschwindigkeitsbeschränkungen u. a. empfangen wie auch längs des Fahrwegs erlangte eigene Beobachtungen eingegeben werden. Bei aufgetretenen Unfällen setzt eine Automatik wiederum per Funk Meldungen an eine Zentrale unter Angabe des Standortes ab und fordert bedarfsweise sogar ein Rettungsfahrzeug an.

9. Vorschau auf die weitere Entwicklung der Automatisierungstechnik

Am Ende der vorstehenden Retrospektive stellt sich die Frage nach der *zukünftigen* Entwicklung der Automatisierungstechnik. Dazu ist bereits erkennbar, dass die eingeleitete Entwicklung bezüglich einer zunehmend auf den Menschen bezogenen und miteinander verwobenen Automatisierungs- und Kommunikationstechnik weiter fortschreiten und sich noch weiter ausbreiten wird. Davon werden das Gebäude, das Fahrzeug und auch die Arbeitswelt betroffen sein.

Darüber hinaus stellen sich der Automatisierungstechnik *neuartige* Aufgaben. Neue Anforderungen ergeben sich u. a. aus dem mit der Bewältigung der Energiewende verbundenen Umstieg auf regenerative Energiequellen. Die hier anstehende Problematik betrifft insbesondere das Energiemanagement, welches die Beherrschung der aus der zunehmenden Verwendung von Windkraft, Solarstrahlung und Biomasse stammenden Fluktuationen verlangt. Hier hat eine intelligente Steuerung dafür zu sorgen, dass die zumeist unkalkulierbaren Schwankungen der Energieangebote aus diesen Quellen ausgeglichen werden und die notwendigen Energiespeicher bedarfsgerecht geladen und entladen werden.

Eine der hier vorgesehenen Strategien zur Abmilderung der genannten Probleme besteht in der Einrichtung möglichst zahlreicher Inselnetze vor, die weitgehend energieautark sein sollten. Bei solchen Lösungen wird ein Energieausgleich auf lokaler Ebene angestrebt. Dieser soll sowohl durch einen geeigneten Energiemix als auch die Einrichtung lokaler Speicher bewältigt werden. Zu den Aufgaben der lokalen Steuerungen zählen die Bestimmung der Verwendung der ungleichen Stromangebote aus den verschiedenen natürlichen Quellen in Relation zur aktuellen Verbrauchssituation, das situationsabhängige Laden bzw. Entladen des vorhandenen Energiespeichers, das ggf. mögliche gewinnbringende Einspeisen überschüssigen Stroms oder auch der notwenig gewordene Strombezug aus dem öffentlichen Netz und möglicherweise auch das anstehende Einschalten von Großverbrauchern zu Zeiten eines vergünstigten Stromtarifs [9]. Der hierdurch erzielte Effekt besteht in der Entlastung des öffentlichen Stromnetzes und der Vorhaltung einer beträchtlichen Regelleistung.

Bezüglich der dafür einsetzbaren *technischen Mittel* gibt es bereits erste Angebote in Form sog. *Smart Meter*. Geräte dieser Art erfüllen nicht nur Messfunktionen, sondern ermöglichen ebenfalls eine Kommunikation mit dem Netzbetreiber. Sie verfügen zu diesem Zweck über ein Modem zur Ankopplung an das Fernsprechnet und sind mit dem Server des Netzbetreibers verbunden. Über diesen Informationskanal können Verbrauchsdaten, Tarifangebote sowie umfangreiche Zusatzinformationen erlangt werden, die steuerungstechnisch verwertet werden.

Für das Zusammenspiel der benötigten Automatisierungskomponenten wird ein standardisiertes Protokoll benötigt, welches in jüngster Zeit mit der Etablierung des sog. *EEBusses* gelungen ist [11]. Hierbei handelt es sich um ein standardisiertes Protokoll, welches unterschiedliche Standards „versteht“ und in eine einheitliche Datensprache übersetzt. Damit ist eine Verständigung der Komponenten unterschiedlicher Art gegeben. Damit wird eine in den Gebäuden installierte einheitliche *EEBus-Box* betreibbar sein, welche die dort vorhandenen vernetzten Großverbraucher intelligent steuert. Auf diese Weise soll eine Entlastung des öffentlichen Stromnetzes während hoher Beanspruchung erreicht werden, ohne dass große bauliche Maßnahmen erforderlich sind. Darüber hinaus wird auch eine Reduzierung des Bedarfs an Spitzenkraftwerken erwartet. Auf diese Weise soll nach vorliegenden Angaben ein Regelpotenzial von bis zu 8 GW erreichbar sein.

Richtet man den Blick in die nähere Zukunft, so werden immer mehr hocheffiziente und vernetzte Automatisierungssysteme vorhanden sein, die einen zunehmend höheren Grad an (künstlicher) Intelligenz aufweisen. Die Zukunftsforscher sehen dazu in einzelnen Bereichen einen Entwicklungstrend in Richtung der Etablierung aufmerksamer sog. „Digitaler Dienstleister“ [7], [8].

Weiter in die Zukunft greifende Visionen sehen die Entstehung *intelligenter Gebäude*, die einen hohen Standard an Sicherheit und Komfort bieten. Diese sog. *smart homes* agieren autonom; die einzelnen Funktionen können aber auch extern angesteuert werden. Das System handelt u. a. selbständig, indem ein beim Verlassen des Hauses versehentlich offen gelassenes Fenster automatisch geschlossen oder – um ein anderes Beispiel zu nennen – der noch in Betrieb befindliche Herd selbsttätig ausgeschaltet wird. Wiederum werden mit Betreten des Hauses das gewohnte Lichtarrangement, Raumklima und womöglich auch die Beschallung automatisch eingeschaltet und der jeweiligen Nutzung der Räume angepasst. Der Betrieb stromintensiver Haushaltsgeräte, wie Waschmaschine oder Geschirrspüler, wird selbsttätig auf Zeiten günstiger Stromtarife verlagert. Auch der Inhalt von Kühlschränken ließe sich selbsttätig überwachen, wobei auch Listen über zu ergänzende Lebensmittel ausgegeben werden können. Die Komfortleistungen könnten noch gesteigert werden, indem sich das System den Gewohnheiten, Vorlieben und Interessen der Nutzer selbständig anpasst. Dies könnte die Bevorzugung eines gewissen Raumklimas, Fernsehkanals oder auch Wunschtitels der Musik betreffen. Dafür wäre allerdings eine Lernfähigkeit erforderlich. Mit dem inzwischen vorgestellten sog. *inHaus 1* wurde bereits eine erste Realisierung dieser Vision vorgestellt [9]. Als Steuerzentrale fungiert dort ein entsprechend programmiertes *iPad*, welches per Funk eine Kommunikation mit diversen Einzelsteuerungen, Steckdosen und dem Internet ermöglicht.

Diesem Bemühen wird durch Vernetzung der für unterschiedliche Aufgabenstellungen verwendeten Einzelautomatiken begegnet. Dies betrifft die Integration der Überwachungen der Tore, Fenster, Elektrogeräte und Raumlufte sowie diverse Steuerungen für Beleuchtung, Jalousien, Hausgeräte, Heizung, Belüftung u. a. In das Gesamtkonzept werden auch das Energiemanagement der benutzten regenerativen Energien sowie die E-Mobilität einbezogen.

Eine noch weiter reichende Vision zielt auf die Überwachung der in Gebäuden allein lebenden und vor allem älteren Personen ab. Nach dem Konzept von *Ambient Assisted Living* wird dazu das Aktivitätsprofil dieser Menschen anhand erwarteter Handlungen, wie Lichtbedienung, Fensteröffnung, Aufsuchen der Toilette etc. bezüglich von Abweichungen vom Normalen automatisch kontrolliert. Im Bedarfsfall wird selbsttätig ein telefonischer Ruf an eine Zentrale veranlasst oder gar die Rettungsstelle alarmiert.

Im Zuge der zunehmenden Orientierung von Automatik und Kommunikation auf den Menschen werden sich auch die Schnittstellen zwischen Mensch und Technik, dem *HMI (Human Machine Interface)* verändern. So wird die bisherige Systembedienung mittels Schalter und Tastaturen weitgehend durch intuitiv bedienbare Mittel, wie *Multitouch*, ersetzt. In einzelnen Fällen ist bereits eine Sprachkommunikation verfügbar. In den Fahrzeugen werden zukünftig Informationsausgaben in Form von in die Windschutzscheibe gespiegelte virtuelle Displays zum Einsatz gelangen, welche dann unmittelbar im Sichtfeld des Fahrers liegen.

Im Auto werden auch immer mehr Aufgaben vom Fahrer auf Automaten delegiert. Damit kann der Fahrer weiter entlastet und die Sicherheit und Komfort der Insassen gesteigert werden. Die Bemühungen reichen inzwischen bis zur Realisierung eines vollautomatisierten Fahrbetriebs, dem man bereits recht nahe gekommen ist (**Bild 14**).

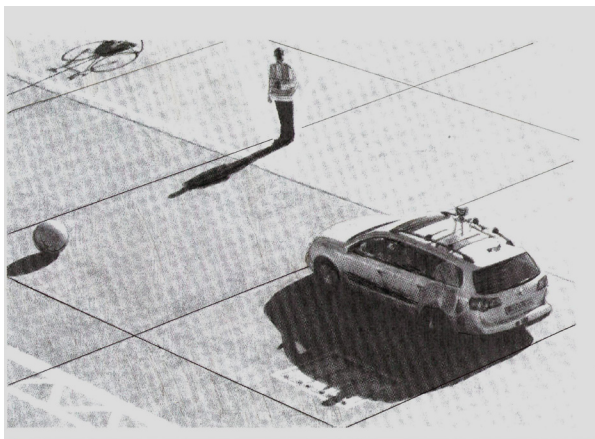


Bild 14
Autonom agierendes Auto

Grundlage dafür ist eine umfassende Sensorik zur Erfassung der Umgebung sowie eine schnelle Erkennung und Bewertung der aktuellen Verkehrssituation, um daraus Entscheidungen bezüglich der angemessenen Handlungen zu ziehen. Das Potenzial für solch autonomes Fahren wird vor allem in der Entlastung des Fahrzeugführers bei langen Autobahnfahrten sowie in der Fahrzeugzufuhr beim *Car-Sharing*-Betrieb gesehen.

Ein weiterer Trend besteht in der Aufrüstung der Fahrzeuge zu *Informationszentralen*. Die Insassen werden die Möglichkeit haben, auf eine Vielzahl von Informationen zuzugreifen. Dies schließt auch den Internetzugang ein, dessen vielfältige Dienste damit auch mobil in Anspruch genommen werden können. Damit wird es möglich sein, nicht nur aktuelle Informationen beliebiger Art zu erlangen, sondern man kann beispielsweise auch gewünschte Musiktitel herunterladen oder sogar die Infotainmentangebote nutzen. Inwieweit dies alles sinnvoll und notwendig ist, soll hier nicht diskutiert werden. Einen großen Fortschritt hingegen wird die Kommunikation zwischen Fahrzeugen untereinander bzw. zwischen Fahrzeug und einer Verkehrszentrale bringen. Mit dem Aufbau der dafür nötigen Infrastruktur wird in den nächsten Jahren zu rechnen sein.

Der in der Zukunft verwirklichte Rahmen sieht eine Verschmelzung der Automatisierungs- und Kommunikationsfunktionen der unterschiedlichen Welten von Personen, Gebäuden und Fahrzeugen vor. Die sich hierbei ergebenden Möglichkeiten sollen dem Prinzip nach durch **Bild 15** veranschaulicht werden.

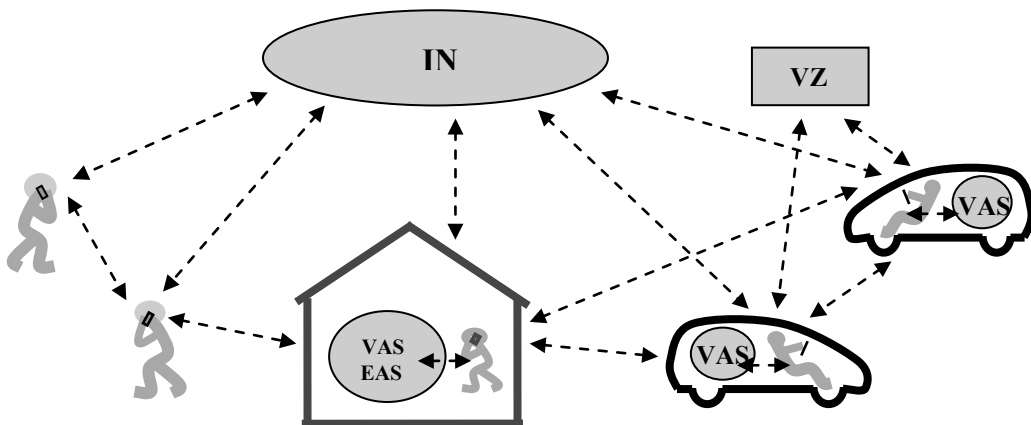


Bild 15 Prinzip der vernetzten Automatisierung und Kommunikation zwischen Personen, Fahrzeugen und Gebäuden

Legende:

VAS vernetztes Automatisierungssystem

EAS Einzelautomatisierungssysteme

IN Internet

VZ Verkehrszentrale

← --- → Kommunikationsmöglichkeiten

Die Mobilkommunikation wird es zukünftig ermöglichen, vom Fahrzeug aus jederzeit und von jedem Ort aus automatisierte Dienste in der Wohnung oder am Arbeitsplatz zu aktivieren. Auch in umgekehrter Richtung – von Haus zu Fahrzeug – können mobilitäts-orientierte Dienste in Anspruch genommen werden. Dazu zählt das Erkunden der günstigsten Fahrverbindungen, die Ermittlung vorteilhafter Mobilitätsketten zu vorgegeben Zielorten, der Kauf von Tickets oder auch das Leasen von Fahrzeugen.

Eines Tages wird es dann auch möglich sein, dass sich die bestellten Fahrzeuge selbständig zum Auftraggeber hin bewegen und sich dort melden.

Nach der Vernetzung und Automatisierung des persönlichen Umfeldes von Menschen denken die Zukunftsforscher verschiedenster Disziplinen (einschließlich der Automatisierungingenieure) bereits über sog. *smart cities* nach. Ihre Vision richtet sich auf die Gestaltung zukünftiger Kommunen mit einer allumfassenden Vernetzung der Lebensbereiche. Ihr Ziel besteht in der Gewährleistung einer hohen Lebensqualität besonders auch in den Megastädten unter Wahrung einer gesunden Umwelt und Schonung der knapper werdenden Ressourcen. Die Verwirklichung dieser Zukunftsvisionen erfordert das Zusammenwirken von Automatisierungingenieuren und Spezialisten verschiedener Disziplinen.

Abschließend erscheint es noch notwendig, einen Blick auf das Gebiet der *Theorie und Methodologie* der Automatisierungstechnik zu richten. Hier stellen sich Aufgaben, die aus den bestehenden und künftig weiterhin steigenden Systemanforderungen resultieren. Diese sind vor allem gekennzeichnet durch hohe Ansprüche an die Funktionalität (einschließlich intelligentem Verhalten), zunehmende Systemkomplexität, steigenden Vernetzungsgrad, Bestehen heterogener Teilsysteme, Zeitvarianz der Systemstruktur (veränderliche Teilnehmerzahl). Damit bedarf es neuer Konzepte zur optimalen Strukturierung komplexer dynamischer Systeme, Methoden zur einheitlichen Behandlung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme, Verfahren zur durchgängigen Modellierung bzw. Modellreduktion u. a. m. [3]. Ansätze zur Entwicklung der benötigten Theorien und Methoden liefern die Komplexitätstheorie, Optimierungstheorie, Graphentheorie, Intervallmathematik, sowie Methoden der Künstlichen Intelligenz, der Informations- und Kommunikationstechnologie aber auch heuristische Strategien.

10. Automatisierung als universelle Systemwissenschaft

Befasst sich die Automatisierungstechnik mit dynamischen Prozessen, die ggf. verteilt und miteinander wechselwirken und zielorientiert geführt werden, so zeigt eine Umschau, dass derartige Vorgänge auch in nichttechnischen Bereichen in zahlreichen Ausführungen anzutreffen sind. Zu diesen Gebieten zählen die Ökonomie, Ökologie, das Finanzwesen, die Gesellschaft u. a. Diese Erkenntnis gibt Anlass zu der Erwartung, dass das im Schoss der Automatisierungstechnik entwickelte und dort erfolgreiche methodische Rüstzeug auch außerhalb technischer Disziplinen von Nutzen sein könnte.

Als eine der Einsatzmöglichkeiten automatisierungstechnischer Methoden wird zunächst die *modellbasierte Analyse* natürlicher Systeme gesehen. Als Ziel solcher Untersuchungen werden Erkenntnisse bezüglich der Aufdeckung des vorliegenden Wirkungsmechanismus gesehen. Wenn man Systeme versteht, kann man bekanntlich auch besser mit ihnen umgehen. Zur Prüfung der Möglichkeiten des Methodeneinsatzes auf völlig anderen Gebieten hat der Autor mehrere Arten natürlicher Systeme untersucht. Besonders eindrucksvoll war die Untersuchung eines aus 4 Ebenen bestehenden Ökosystems [12]. Das hierbei erzielte Ergebnis besteht in der Erkenntnis des Bestehens eines mehrfach rückgekoppelten Systems, das sich selbst regelt. Ziel dieser Selbstregelung besteht in der Erreichung und Aufrechterhaltung eines Gleichge-

wichtszustandes, dessen Lage weitgehend von den Umständen der Systemumgebung bestimmt wird und sich Veränderungen selbsttätig anpasst.

Ein großes Einsatzpotenzial automatisierungstechnischer Methoden verspricht auch die Anwendung der *Simulationstechnologie*. Die ausgeprägte Kausalität vieler natürlicher Systeme erlaubt die Bildung von Modellen. Diese gegenüber der Realität oftmals stark vereinfachten Modelle werden auf Computern simuliert und erlauben die Durchführung von Simulationsexperimenten. Dabei werden interessierende Szenarien „durchgespielt“, denen entnommen werden kann, wie sich bestimmte steuernde Eingriffe auswirken. Solche Simulationsexperimente haben den Vorteil, dass im Vorfeld der Realisierung wertvolle Einsichten erlangt werden, ohne dass die probeweise vorgenommenen Steuerhandlungen evt. materiellen Schaden anrichten. Mit solchen Experimenten lassen sich beispielsweise Aussagen über die Auswirkungen des zu erwartenden Klimawandels gewinnen oder auch die Zweckdienlichkeit von steuernden Eingriffen etwa auf dem Rohstoff- oder Energiemarkt abschätzen. Solche Untersuchungen auf virtueller Ebene können dazu dienen, die Planungssicherheit zu erhöhen und manche Fehleinschätzung zu verhindern. Auf diese Weise könnten sogar globale Maßnahmen zur Kontrolle globaler Entwicklungen, etwa im Bereich der Ressourcenverknappung, des Klimawandels oder des Bevölkerungswachstums, vorab erprobt werden.

Nicht zuletzt bietet die den Theorien der Automatisierungstechnik zugrunde liegende *Systemphilosophie* erhebliche Vorteile. Diese erzieht grundsätzlich zu ganzheitlichem Denken. Sehr effektiv kann auch die Nutzung der Möglichkeit sein, interessierende Teile aus der komplexen Gesamtheit herauszuschneiden, um sie isoliert zu betrachten.

Wie bereits aus den angedeuteten Möglichkeiten hervorgeht, erlangt die Automatisierungstechnik eine Schlüsselkompetenz auch bei der Lösung der anstehenden Zukunftsprobleme. Diese Disziplin ist somit von über den bisherigen Rahmen hinausgehender universeller Bedeutung. Dabei tritt der Zusatz „... technik“ in den Hintergrund. Die Nutzung dieses Anwendungspotenzials erfordert das Zusammenwirken der Automatisierungstechniker mit Experten aus verschiedenen Disziplinen. Auch wird es notwendig sein, das Methodenrepertoire der Automatisierungstechnik vor allem bezüglich der Behandelbarkeit hochkomplexer, stark vernetzter und heterogener Systeme weiter auszubauen.

11. Schlussbemerkungen

Die vorstehenden Darlegungen vermitteln einen Überblick über eine bisher 70 Jahre währende Entwicklung des faszinierenden Fachgebiets der Automatisierungstechnik.

Die *Anwendungen* der Automatisierungstechnik waren von Beginn an auf die zielgerichtete Führung technologischer Prozesse gerichtet, deren Spektrum sich zunehmend erweiterte. Dieser Einsatz diente der Steigerung der Effizienz der Produktion, Gewährleistung einer gleichbleibend hohen Produktqualität und Arbeitsentlastung der dort beschäftigten Menschen. Darüber hinaus kommen vielfach automatisierungstechnische Lösungen auch als integraler Bestandteil von Produkten zum Einsatz.

Standen zunächst rein technische Anwendungen in der industriellen Produktion im Vordergrund, so wendete sich die Automatisierungstechnik in einem bemerkenswerten Wandel zunehmend auch dem Menschen zu. Die diesbezüglichen Anwendungen waren darauf gerichtet, den Komfort zu erhöhen, die Sicherheit zu verbessern, die Lebensqualität zu steigern und bedürftige Personen zu unterstützen. Die Automatisierung leistet ebenfalls nützliche Beiträge in Bereichen, die für den Menschen gefährlich oder gar unzugänglich sind.

Automatisierungstechnische Lösungen haben auch hinsichtlich der *funktionellen Leistungsfähigkeit* eine enorme Entwicklung erfahren. Standen zunächst einfache Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungsverfahren zur Verfügung, so finden heutzutage zunehmend problemlösende, lernfähige und autonom agierende Prinzipien Verwendung. Herausragendes Merkmal dieser Entwicklung ist der Übergang vom selbsttätigen zu selbständigem Handeln.

Auch auf dem Gebiet der verfügbaren *technischen Mittel* haben im Verlauf der Zeit beträchtliche Verbesserungen stattgefunden. Standen zu Beginn nur vergleichsweise einfache mechanische, pneumatische und später auch elektromechanische Mittel zur Verfügung, so ermöglichte die Nutzung von Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektronik die Bereitstellung wesentlich leistungsfähigerer Komponenten sowie insbesondere die Durchsetzung einer konsequenten Modularisierung. Nach Einführung der Digitalisierung und Verfügbarkeit leistungsfähiger Computer eröffnete sich die Ära der Prozessrechner und Prozessoren, die nun zum bestimmenden Mittel der Implementierung von Automatisierungsfunktionen wurden. Im Gefolge dieser Umwälzung wurde die oft maßgeschneiderte Hardware von Softwarelösungen abgelöst. Damit ergab sich eine Annäherung an das Fachgebiet der Informatik. Der Informationsbehandlung auf der Basis von (zumeist elektrischen) Signalen folgten die Informationskategorien der Daten und später des Wissens. Auf dem Gebiet der Kommunikation wurde die zunächst weitgehend leitungsgebundene Informationsübertragung durch die Einführung und zunehmende Verbreitung leitungsfreier, speziell funkbasierter Übertragungsmedien, enorm erweitert.

Wie besonders im Ausblick deutlich wurde, erlangen die innerhalb der Automatisierungstechnik entwickelten Methoden eine über die rein technische Anwendung weit hinaus reichende universelle Bedeutung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in Natur, Umwelt und Gesellschaft ebenfalls dynamische und miteinander vernetzte Prozesse vorliegen, die sich teilweise selbst regeln oder einen selbst festgelegten Ablauf nehmen. Daher können zumindest bestimmte, innerhalb der Automatisierungstechnik entwickelte Methoden wirksame Beiträge zur Behandlung solcher Systeme leisten, um sie besser zu verstehen und womöglich auch gezielt zu beeinflussen. Damit avanciert die Automatisierungstechnik in den Rang einer Schlüsseltechnologie.

Nach der Lektüre der vorstehenden Darlegungen wird mancher Leser vom hohen Leistungsstand sowie von der Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten der Automatisierungstechnik überrascht sein. Dies entspricht der vielfach anzutreffenden Unterschätzung dieser Technologie. Dies mag auch dadurch begründet sein, dass die eigentliche Ursache für die dauerhafte Gewährleistung eines wirtschaftlichen Betriebs von Prozessen, die gleichbleibende Qualität bzw. „Intelligenz“ von Produkten oder auch der Sicherheit von Personen und Anlagen für Außenstehende kaum wahrnehmbar ist.

Dieses Wirken im Verborgenen von Automatisierungssystemen resultiert gerade aus ihrem selbsttätigen oder gar selbständigen Handeln. Für Manche mögen die sie umgebenden Dinge wie „von Geisterhand geleitet“ funktionieren. Ihnen bleiben der dahinter stehende beträchtliche technische Aufwand und die geistigen Leistungen verborgen. Zu Recht spricht daher der bekannte Automatisierungstechniker *K. J. Åström* im Zusammenhang mit der Automatisierungstechnik von einer *hidden technology*. Daher ist es wohl wichtig, den hohen Entwicklungsstand und die beachtliche Leistungskraft dieser Disziplin dann und wann ins rechte Licht zu rücken.

Bei der Auswahl der vorstehend behandelten Beispiele mag die eigene berufliche Erfahrung eine gewisse Rolle gespielt haben. Auch ist nicht auszuschließen, dass die eine oder andere Entwicklungslinie nicht gebührend berücksichtigt worden ist. Dennoch glaubt der Autor, die beeindruckende Entwicklung eines faszinierenden Fachgebiets in ihren wesentlichen Zügen aufgezeigt zu haben.

Literatur

- [1] Weller, W.: Automatisierungstechnik im Überblick. Was ist, was kann Automatisierungstechnik? Beuth Verlag GmbH 2008. ISBN 978-3-410-16760-0
- [2] Weller, W.: Das Systemkonzept als produktiver Lösungsansatz zur Behandlung technischer und natürlicher Systeme. <http://edoc.hu-berlin.de>, Datum: 2012-01-12
- [3] Allgöwer, F., Bretthauer, G., Konigorski, U. Stursberg, O.: Theorie der Automatisierungstechnik. **at** – Automatisierungstechnik 55 (2007) 5, S. 256 - 259
- [4] Weller, Wolfgang: Prozessinformatik – ein Teilgebiet der Informatik. <http://edoc.hu-berlin.de>, 2011-01-20
- [5] Weller, Wolfgang: Künstliche Agenten. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. <http://edoc.hu-berlin.de>, 2011-11-09
- [6] www.wi.fh-furtwangen.de
- [7] Kunkel, A.: Die Zukunft kommt automatisch. Technicity. Magazin für innovative Technologie und Mobilität 01/2012, S. 76-83
- [8] www.daimler-technicity.com/automatisierung
- [9] Weller, W.: Energiemanagement in autarken Systemen. Verknüpfung regenerativer Energien in Inselnetzen. Teil I: IKZ-Energy 2/2012, S. 53-55, Teil II: IKZ-Energy 3/2012, S. 48-51
- [10] Berg, L.: Das Haus denkt mit. Berliner Zeitung, Teil Wissenschaft Nr. 35, 12. 06. 2012, S. 28-29
- [11] Schlandt, J.: Der Strom-Dolmetscher. Berliner Zeitung, Teil Wirtschaft Nr. 171, 24. 07. 2012, S. 9
- [12] Weller, Wolfgang: Untersuchung ökologischer Systeme mit kybernetischen Methoden. <http://edoc.hu-berlin.de>, 2011-01-20

Autorenkurzporträt

Der Berufsweg des Autors führte über Tätigkeiten in der automatisierungstechnischen Industrie, in der Forschung, als Dozent am Higher Institute for Electronics (Ägypten), Honorarlehrkraft an der Universität Rostock zu langjährigem Wirken an der Humboldt-Universität zu Berlin als Professor für Technische Kybernetik. Zu den Arbeitsschwerpunkten der letzten Jahre zählte die Anwendung kybernetischer Methoden auf natürliche Systeme, Untersuchung von Verhaltensweisen autonomer Agenten, die Erarbeitung intelligenter Verkehrslösungen sowie die Entwicklung diverser Konzepte auf dem Gebiet der Erneuerbaren Energien.

Kurzfassung

Im Beitrag wird die etwa 70-jährige Entwicklung des Fachgebiets Automatisierungstechnik nachgezeichnet. Die Behandlung folgt einer Gliederung in Etappen, an deren Beginn jeweils Innovationen mit Schlüsselcharakter standen, welche teilweise auch benachbarten Disziplinen entstammen. Dabei wird eine beachtliche qualitative Steigerung der funktionellen Leistungsfähigkeit deutlich, die auch Elemente der Künstlichen Intelligenz einschließt. Auch bei den Anwendungen hat sich ein beträchtlicher Wandel vollzogen. Lag der Einsatzschwerpunkt ursprünglich bei den technischen Prozessen der industriellen Produktion, so hat sich das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten inzwischen stark ausgeweitet. Bemerkenswert sind insbesondere die zunehmenden Beiträge der Automatisierungstechnik zur Befriedigung der Bedürfnisse von Menschen in ihrem Umfeld. Wie ein Blick in die Zukunft zeigt, wird sich dieser Trend fortsetzen und weiter vertiefen, wobei die Visionen bis zu umfassenden Lösungen reichen. Außerdem erweist sich das innerhalb der Automatisierungstechnik entwickelte Methodenrepertoire über technische Anwendungen weit hinausgreifend für die Lösung der anstehenden Zukunftsprobleme als nützlich, so dass dieser Disziplin eine Schlüsselkompetenz zukommt.